



"INOVASI TEKNOLOGI TEKSTIL Fungsional Menuju Industri Tekstil Berkelanjutan"

PROSIDING 2020

2020 PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKSTIL
BANDUNG, 03 November 2020



INOVASI TEKNOLOGI
TEKSTIL Fungsional
Menuju
INDUSTRI TEKSTIL
BERKELANJUTAN

ISBN 978-602-17138-5-3

Diterbitkan oleh:
BALAI BESAR TEKSTIL
2020

PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKSTIL 2020

**“INOVASI TEKNOLOGI TEKSTIL FUNGSIONAL
MENUJU INDUSTRI TEKSTIL BERKELANJUTAN”**

**ZOOM MEETING
3 NOVEMBER 2020**



**PENERBIT:
BALAI BESAR TEKSTIL
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
2020**

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKSTIL 2020

“INOVASI TEKNOLOGI TEKSTIL FUNGSIONAL MENUJU INDUSTRI TEKSTIL BERKELANJUTAN”

ISBN: 978-602-17138-5-3

Panitia Pelaksana

Ketua	: Dr. Rr. Srie Gustiani, ST, MT
Sekretaris	: Eva Novarini, S.SiT
Bendahara	: Reni Herliani, AMd
Humas, Publikasi, & Multimedia	: Endah Oktaviani, S.Ds, M.Ds Dermawati Suantara, S.Sn
Rekrutmen	: Silvani Olival Alif, S.ST Ikbal Mahsani, S.SiT Faradhilla Bellady Agnes Bella Patria Khrisna
Acara	: Rudi Burnama, ST, MIL Drs. Tatang Wahyudi, M.Si M. Danny Sukardan, S.Teks Mulia Hendra, ST Asep Erwin Hidayat, S.SiT, M.Si Iwan Setiawan, S.Si Bella Patria Khrisna

Steering Committee

Wibowo Dwi Hartoto, S.H, M.B.A (Kepala Balai Besar Tekstil)
Ir. Fatmir Edwar, MP (Balai Besar Tekstil)
Ferry Guswandhi, S.SiT (Balai Besar Tekstil)
Quri Siti Mirah DPS, A.T, M.T (Balai Besar Tekstil)
Firman Harryanto Sagala, A.T., M.Tech (Balai Besar Tekstil)
Soni Pitriajaya, ST, MAB (Balai Besar Tekstil)
Dr. Doni Sugiyana, ST, M.Eng (Balai Besar Tekstil)
Dr. Rr. Srie Gustiani, ST, MT (Balai Besar Tekstil)
Drs. Tatang Wahyudi, M.Si (Balai Besar Tekstil)
M. Danny Sukardan, S.Teks (Balai Besar Tekstil)

Reviewer

Mohamad Widodo, A.T, M.Tech, Ph.D (Politeknik STTT Bandung)
Dr. Doni Sugiyana, ST, M.Eng (Balai Besar Tekstil)
Aprina Murwanti, S.Ds, Ph.D (Universitas Negeri Jakarta)
Dr. Qomarudin Helmy, S.Si, MT (Institut Teknologi Bandung)
Syarif Hidayat, ST, MT, Ph.D (Institut Teknologi Bandung)

Editor

Dr. Rr. Srie Gustiani, ST, MT (Balai Besar Tekstil)
Drs. Tatang Wahyudi, M.Si (Balai Besar Tekstil)
M. Danny Sukardan, S.Teks (Balai Besar Tekstil)
Saeful Islam, S.SiT, MT (Balai Besar Tekstil)
Silvani Olival Alif, S.ST (Balai Besar Tekstil)
Rizka Yulina, ST, M.Sc (Balai Besar Tekstil)
Jakariya Nugraha, S.SiT (Balai Besar Tekstil)
Siti Robi'ah Adawiyah, S.SiT (Balai Besar Tekstil)

Desain Grafis/Tata Letak dan Pencetakan

Dermawati Suantara, S.Sn
Siti Robi'ah Adawiyah, S.SiT
Nunik Wigandini

Penerbit

Balai Besar Tekstil

Alamat Redaksi

Balai Besar Tekstil
Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung 40272
Telp. (022) 7206214, 7206215; Fax. (022) 7271288
e-mail. bbt@kemenperin.go.id, website. <http://bbt.kemenperin.go.id>

Cetakan pertama, Desember 2020

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

PENGANTAR REDAKSI

Industrialisasi merupakan salah satu penggerak pembangunan. Konsep pengembangan industri yang ideal adalah industri berkelanjutan yang berprinsip pada pemenuhan kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya sendiri. Dengan konsep tersebut, dampak positif industrialisasi bagi perekonomian, peningkatan nilai tambah serta penerapan sains, teknologi dan inovasi, sejatinya dapat diperoleh dengan tetap mempertahankan keseimbangan lingkungan hidup dan sosial budaya. Perkembangan teknologi modern akan selalu hadir dengan 2 (dua) hal yaitu solusi untuk permasalahan yang ada dan atau terciptanya suatu permasalahan baru, sehingga akan selalu ada konsekuensi di balik setiap manfaat yang diberikan oleh teknologi. Agar diperoleh suatu keseimbangan, maka setiap inovasi teknologi yang tercipta dan dimanfaatkan pada kerangka industri berkelanjutan ini, haruslah memiliki prioritas yang setara untuk kemanusiaan, keekonomian dan kelestarian lingkungan.

Balai Besar Tekstil adalah lembaga litbang pemerintah di bawah naungan Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Kementerian Perindustrian. Dalam berbagai riset mengenai bahan baku dan penolong, teknologi proses, produk akhir, permesinan serta pengelolaan limbah yang dilakukan oleh Balai Besar Tekstil, prinsip inovasi merupakan prioritas yang selalu dikedepankan untuk menuju industri tekstil yang berkelanjutan.

Seminar Nasional Tekstil (SNT) merupakan forum ilmiah tahunan Balai Besar Tekstil. Seminar ini dihadiri oleh berbagai Peserta dari Industri, Perguruan Tinggi, Lembaga Litbang K/L, Asosiasi dan Masyarakat Umum. Tema yang diusung kali ini adalah “Inovasi Teknologi Tekstil Fungsional Menuju Industri Tekstil Berkelanjutan”. Acara seminar ini diharapkan menjadi wadah pertukaran informasi terkini mengenai perkembangan dunia tekstil, serta khususnya untuk arena diseminasi invensi dan inovasi teknologi dari Balai Besar Tekstil dan lebih jauh lagi menjadi sarana mempererat konektivitas antar stakeholder.

Bandung, Desember 2020

TIM EDITOR

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Redaksi	ii
Pengantar Redaksi	iv
Daftar Isi	v

Kelas A: Lingkungan Hidup dan *Sustainable Textiles*

Penggunaan Rhizobakteria Isolat Pasir Besi sebagai Bioremediator Logam Pb pada Limbah Cair Batik - Hermilia, Sri Lestari, Oedjijono	1-8
Bioremediasi Logam Zn Limbah Cair Batik Menggunakan Rhizobakteria Asal Pasir Besi - Lesa Suryani Samsudin, Sri Lestari, Oedjijono	9-16
Penggunaan Ekstrak Pewarna Alami dari Tanaman <i>Mangrove</i> dalam Industri Tekstil untuk Keberlanjutan Lingkungan di Desa Mangunharjo, Semarang - A. Hadian Pratama Hamzah, Sutrisno Anggoro, Sri Puryono	17-20
Isolasi Bakteri Lignoselulolitik dari Batang Rami Terdegradasi dan Skrining Kemampuan Enzimatis dalam Degradasi Gum - Kasimir Beni Moerdani, Oedjijono, Srie Gustiani	21-28
Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Buah Biduri (<i>Calotropis gigantea</i>) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb) - Anne Sukmawati	29-34
Validasi Metode Uji Penetapan Kadar Krom Heksavalen dalam Limbah Padat Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> (TCLP) Secara Spektrofotometri Sinar Tampak - Reza Mulyawan, Annisa Safitri, Sri Ernawati	35-44
Penurunan Kandungan COD dan TSS pada Air Limbah <i>Degumming</i> Rami Menggunakan Koagulan Serbuk Biji Asam Jawa (<i>Tamarindus indica</i>) - Nagia Putri Munajat, Suryatmana Tanuwidjadja, Silvani Olival Alif, Rizka Yulina, Rr. Srie Gustiani	45-50

Kelas B: Material dan Produk Tekstil Maju

Karakterisasi Limbah Serat Rami (<i>Boehmeria nivea</i>) sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil dan Produk Tekstil Terbarukan - Naufal Arafah, Noerati, Doni Sugiyana	51-58
Potensi Tanaman Biduri (<i>Calotropis gigantea</i>) serta Kemungkinan Pemanfaatannya di Bidang Tekstil, Pangan, Farmasi, dan Lingkungan - Arif Wibi Sana, M. Danny Sukardan	59-72
Potensi Pemanfaatan Paten Kedaluwarsa Terkait Teknologi Material untuk Peningkatan Daya Saing Industri Tekstil - Adityo Wicaksono	73-86
Pengembangan <i>Self Cleaning Textile</i> dengan Aplikasi Nanopartikel Titanium Dioksida dan Doping Logam - Nafisa Rizki Maulida, Doni Sugiyana, Wiah Wardiningsih	87-94
Penyempurnaan Anti Ultraviolet pada Kain Poliester-Rayon dengan Impregnasi Seng Oksida dan Implementasinya di Industri Tekstil - Herman Fitrianto, Jakariya Nugraha, Doni Sugiyana	95-100
Pemanfaatan Biosilika dari Abu Sekam Padi untuk Meningkatkan Sifat Hidrofobik pada Kain Kapas Metode <i>Pad-Dry-Cure</i> - Jantera Sekar Tirta, Juan Prianto	101-106

Karakterisasi dan Modifikasi <i>Polylactic Acid</i> (PLA) untuk Pembuatan Benang Jahit Bedah Menggunakan Pemintalan Leleh - Robinson Manalu	107-116
---	---------

Kelas C: Proses Manufaktur, Manajemen, Sejarah, Seni, dan Kreasi Tekstil dan Fashion

Rancang Bangun Mesin Pemintalan Leleh Skala Laboratorium untuk Pembuatan Serat Sintetik - Silvani Olival Alif, Tony Setiawan, Mukti Widodo, Herman Fitrianto, Mukhlisin	117-126
Strategi Pengembangan Teknologi Tekstil Berbasis Analisis Paten - Firman Tri Ajie, Adityo Wicaksono	127-136
Pengembangan Motif Batik Bunga Teratai Malang pada Rancangan Produk Tekstil - Syafira Audianty, Sabrina Ilma Sakina	137-148
Eksplorasi Pengolahan Serat Alam Daun Nanas Varietas <i>Smooth Cayenne</i> dengan Teknik <i>Pulping</i> dan <i>Paper Making</i> - Asyifa Rachmadina Jiniputri, Sabrina Ilma Sakina, Alvinska Oktaviana	149-156
Pemanfaatan Serat Abaka dalam Pembuatan Benang Kertas untuk Pengrajin di Kabupaten Talaud - Sabrina Ilma Sakina, Asyifa Rachmadina Jiniputri, Alifa Rasyida Ahmad, Novita Sari, Syafira Audianty, Nadiyah Husna, Dian Widiawati	157-164
Ketersediaan <i>Lawe Lowo</i> dalam Menjaga Keberlangsungan Tradisi Tenun Gedhog di Kerek, Tuban - Bramantijo, M. Junaidi Hidayat, M. Arifin	165-170
Pengaruh Pelaksanaan Audit Teknologi Terhadap Manajemen Industri Tekstil - Rita Normalia, Gugum Gumilar	171-176
Perancangan Prosedur, Pengendalian Dokumen, dan Audit Mutu Internal ISO 9001 : 2015 secara Digital pada Perusahaan Tekstil dengan Metode <i>Six Sigma</i> - Iwan Satriyo Nugroho, Ahmad M. Ryad, Noneng Nurhayani, Iyan Sofyan	177-188
Kajian Desain dalam Visual <i>Fashionable Masker</i> pada Era Pandemi Covid-19 - Irfa Rifaah	189-196
<i>Sustainable Fashion</i> dalam <i>Circular Economy</i> - Maya Komalasari, Maulana Fahrizal Abdan	197-202

Poster

Simulasi Audit Teknologi di Industri Denim PT. X - Silvani Olival Alif, Eva Novarini	203-212
Potensi Serat Biduri (<i>Calotropis gigantea</i>) sebagai Bahan Baku Benang pada Proses Sistem Pemintalan Kapas - Doni Primadi, Saeful Islam, M. Danny Sukardan	213-222
Studi Pengaruh Konstruksi Kain Terhadap Kemampuan Penyerapan Termal Kain Rajut Menggunakan Analisis Prediksi Regresi Linier Berganda - Witri Aini Salis, Arif Wibi Sana, Azis Fathur Rachman	223-228
Modifikasi Permukaan Kain Kapas dengan Metode Plasma Menggunakan <i>Resin Hydrob FC</i> untuk Mendapatkan Sifat Hidrofobisitas - Juan Prianto, Jantera Sekar Tirta	229-234
Studi Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Simulasi Audit Teknologi di Industri Tekstil - Mukti Widodo, Mulia Hendra, Tony Setiawan	235-240
Studi Pendekatan Kemanfaatan Bersama (<i>Co-Benefit Approach</i>) pada Pengendalian Polusi Udara Melalui Perbaikan Operasional Sistem Uap di Industri Tekstil - Mukti Widodo, Mulia Hendra, Herman Fitrianto	241-248
Eksplorasi Motif Tenun Ikat Dayak Iban - Nadiyah Husna, Ratna Panggabean	249-256

Modifikasi Desain Struktur <i>Fancy Twill</i> untuk Peningkatan Sifat <i>Liquid Moisture Management Transport</i> pada Kain Tenun Poliester - Yusniar Siregar, Arif Wibi Sana, Dermawati Suantara, M. Danny Sukardan, Siti Robi'ah Adawiyah	257-264
Penanganan Cacat Garis Perak pada Proses Pembuatan Komponen Tepian Samping Ranjang Rumah Sakit Berbahan Dasar <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> pada Industri Plastik di Yogyakarta - Zia Ulhaq, Diana Ross Arief	265-270
Analisis Cacat pada Proses Pembuatan Poliester <i>Staple Fiber</i> dari Daur Ulang Botol PET - Royhanatul Jannah, Cahya Widiyati	271-274
Tekstil Fungsional Berbasis <i>Carbon Nanotubes</i> untuk Aplikasi Sensor Elektronik: Sebuah Tinjauan - Rizka Yulina	275-284

PENGGUNAAN RHIZOBAKTERIA ISOLAT PASIR BESI SEBAGAI BIOREMEDIATOR LOGAM PB PADA LIMBAH CAIR BATIK

THE USE OF ISOLATES SAND IRON RHIZOBAKTERIA AS BIOREMEDIATOR PB METAL ON BATIK WASTEWATER

Hermilia, Sri Lestari,* Oedjijono

Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman Jl. dr. Suparno 63 Purwokerto, 0281638794

*E-mail: srilestari.bio@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair batik merupakan buangan yang bersifat toksik bagi makhluk hidup yang terpapar karena mengandung logam berat yang berbahaya, seperti logam Pb. Logam Pb pada limbah cair batik dapat didegradasi melalui proses bioremediasi yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan Rhizobakteria. Dalam penelitian ini, telah dilakukan bioremediasi logam Pb pada limbah cair batik menggunakan Rhizobakteria isolat pasir besi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui toleransi isolat Rhizobakteria terhadap Pb secara *in vitro*, mengetahui kemampuan isolat Rhizobakteria dalam menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik, dan mengetahui pH yang paling optimum dalam menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik. Metode penelitian meliputi *screening* isolat pasir besi terhadap toleransi logam Pb secara *in vitro* dan aplikasi bioremediasi limbah cair batik menggunakan 3 Rhizobakteria terpilih dari hasil *screening* dengan 3 variasi pH (pH 5; 5,5; dan 6). Setiap perlakuan penelitian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sebanyak 6 isolat Rhizobakteria mampu toleran terhadap Pb secara *in vitro* dengan konsentrasi sebesar 110 mg/L, isolat Rhizobakteria yang terpilih mampu menurunkan Pb pada limbah cair batik sebesar 42-80% dengan tingkat keasaman (pH) limbah yang paling optimum untuk degradasi Pb oleh Rhizobakteria yakni pH 6. Penggunaan Rhizobakteria sebagai bioremediator logam Pb dapat diaplikasikan pada proses pengolahan limbah cair batik.

Kata kunci: bioremediasi, limbah cair batik, Rhizobakteria, timbal (Pb)

ABSTRACT

Batik wastewater is a toxic waste for exposed living things because it contains dangerous heavy metals, such as Pb metal. Pb metal in batik wastewater can be degraded through the process of bioremediation that can be conducted by using Rhizobacteria. In this research, Pb bioremediation was carried out in batik wastewater using iron sand isolates Rhizobacteria. The purpose of this research is to study the in vitro tolerance of Rhizobacteria isolates against Pb, the ability to isolate Rhizobacteria in reducing the concentration of Pb on batik wastewater, and the optimum pH in reducing the Pb concentration in batik wastewater. The research method included the screening of iron sand isolates against in vitro Pb metal tolerance and the application of batik wastewater bioremediation using 3 selected Rhizobacteria from the screening results with 3 pH variations (pH 5; 5,5; and 6). Each research treatment was repeated 3 times. The result of the research indicated that as many as 6 isolates Rhizobacteria capable of being in vitro tolerant of Pb concentration of 110 mg/L, the selected Rhizobacteria isolates were able to reduce Pb in batik wastewater by 42-80% with wastewater optimum pH for Pb degradation by Rhizobacteria is pH 6. The use of Rhizobacteria as bioremediator of Pb metal can be applied in the processing of batik wastewater.

Keywords: bioremediation, batik wastewater, Rhizobacteria, lead (Pb)

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, selain memberikan manfaat kemakmuran bagi masyarakat terutama di bidang industri, namun juga menimbulkan dampak negatif berupa limbah industri.¹ Industri yang menghasilkan limbah berbahaya salah satunya yakni industri batik. Sentra Batik Sokaraja merupakan salah satu bagian dari industri batik rumahan di Kabupaten Banyumas yang limbahnya berpotensi mencemari lingkungan karena limbahnya dibuang ke Kali Wangan.²

Limbah industri batik mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, minyak atau lemak yang tinggi dan logam berat berbahaya seperti Zn, Cd, Cu, Cr dan Pb. Senyawa tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran air jika langsung dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Timbal (Pb) yang terdapat dalam limbah cair batik berasal dari zat mordan. Zat mordan merupakan zat pengikat warna seperti PbCrO₄.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bahwa kandungan maksimum ion logam Pb(II) pada limbah cair batik adalah 0,1 ppm.³

Timbal pada limbah cair batik dapat menimbulkan efek toksik saat masuk ke dalam tubuh. Timbal memiliki sifat bioakumulatif dan biomagnifikasi. Sifat bioakumulatif yakni kondisi dimana logam berat akan terus diakumulasi oleh tubuh hingga organisme tidak mampu lagi mentolerir kandungan logam berat pada tubuhnya, sedangkan sifat biomagnifikasi yakni kondisi dimana semakin tinggi tingkat trofik suatu organisme kandungan logam berat yang ada didalam tubuhnya semakin tinggi. Timbal dapat masuk kedalam tubuh melalui saluran pencernaan, saluran pernafasan dan permukaan kulit. Masuknya timbal dalam tubuh dapat menimbulkan kerusakan organ dan menghambat aktivitas enzim.⁴

Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat diatasi secara kimia, fisika, dan biologi. Metode secara fisika untuk menangani pencemaran logam berat yakni melalui mekanisme oksidasi-reduksi, koagulasi-sedimentasi, penguapan, dan filtrasi. Metode remediasi secara kimia dapat dilakukan dengan cara *ion exchange*, *reverse* osmosis, dan pengolahan elektrokimia. Kedua metode tersebut memiliki beberapa kelemahan, yakni biaya instalasi dan operasional yang tinggi, banyak membutuhkan bahan kimia dan terbentuknya lumpur (*sludge*) yang banyak sehingga memerlukan pengolahan lanjutan dan biaya tinggi dalam pembuangannya.⁵ Remediasi secara biologi atau sering disebut bioremediasi didefinisikan sebagai penggunaan organisme hidup terutama mikroorganisme untuk mendegradasi pencemaran lingkungan yang merugikan ke tingkat atau bentuk yang lebih.⁶ Proses bioremediasi dipandang lebih murah, efektif, dan ramah lingkungan.⁷

Rhizobakteria merupakan kelompok bakteri tanah yang berada di daerah rhizosfer (bagian tanah yang dipengaruhi oleh perakaran tanaman) sedangkan untuk Rhizobakteria yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman sering disebut *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR).⁸ Genus bakteri yang termasuk dalam PGPR yakni *Pseudomonas*, *Serratia*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acetobacter*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, dan *Bacillus*.⁹ Penggunaan Rhizobakteria sebagai salah satu bioremediator logam berat dilakukan karena diketahui mampu mendetoksifikasi logam berat.¹⁰

Kemampuan Rhizobakteria dalam menurunkan kadar logam berat dapat diindikasikan melalui tingkat toleransi Rhizobakteria terhadap logam berat. Rhizobakteria yang diisolasi dari tanah pertanian india (*Lysinibacillus varians* dan *Pseudomonas putida*) mampu toleran terhadap logam Pb hingga 450 ppm serta 500 ppm.¹¹ *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. selain toleran terhadap logam Pb 110 ppm juga mampu menghilangkan kadar logam Pb masing-masing sebesar 46,60- 77,76%, dan 53,02-89,19%.¹² Kemampuan bakteri *Bacillus alvei*, *B. pumilus*, dan *B. licheniformis* juga mampu menurunkan kadar logam Pb pada limbah cair agar steril masing-masing sebesar 83%; 81,31; dan 79,31%.¹³

Faktor yang berpengaruh terhadap proses bioremediasi antara lain sumber energi (donor elektron), akseptor elektron, nutrisi, pH, temperatur, substrat atau metabolit penghambat, bentuk alami polutan (solid, semisolid, liquid, volatil, toksik atau tidak, organik atau anorganik), logam berat atau tidak, bentuk hidrokarbon aromatik polisiklik, atau bentuk lainnya, serta diversitas mikroorganisme.⁷ *Potensial of Hydrogen* (pH) sangat mempengaruhi proses bioremediasi karena berpengaruh terhadap kelarutan kimia dari logam serta aktivitas dari kelompok-kelompok fungsional yang terdapat pada biomassa dan kompetisi di antara ion-ion logam.¹⁴ *Potensial of Hydrogen* (pH) yang optimum untuk bioremediasi yakni mendekati pH netral, karena bakteri akan mati jika berada dalam kondisi pH yang terlalu asam maupun terlalu basa.¹⁵

Berdasarkan uraian di atas, perumusan masalah yang diperoleh yaitu apakah isolat Rhizobakteria toleran terhadap Pb secara *in vitro*, apakah isolat Rhizobakteria mampu menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik, dan pH yang paling optimum dalam menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik.

Tujuan dari penelitian, yaitu:

1. Mengetahui toleransi isolat Rhizobakteria terhadap Pb secara *in vitro*.
2. Mengetahui kemampuan isolat Rhizobakteria dalam menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik.
3. Mengetahui pH yang paling optimum dalam menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah isolat Rhizobakteria koleksi Sri Lestari yang berasal dari pasir besi (Isolat Rb1, Rb2, Rb3, Rb4, Rb5, Rb6, Rb7, Rb8, Rb10, Rb11, Rb12), Limbah cair batik, PbNO₃, HNO₃ pekat, H₂O₂, NaOH, HCl, Na₂S₂O₃, kertas Whatman no 42, *membrane filter* 0,22 µm, alkohol 70%, akuades, tisu, medium NA, medium NB, dan label.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah derigen, sprayer, cawan petri, ose, tabung reaksi, bunsen, *blue tip*, *yellow tip*, pipet volume 10 mL, pipet volume 5 mL, erlenmeyer 250 mL, erlenmeyer 100 mL, pH meter, gelas ukur 50 mL, labu takar 50mL, mikropipet, *hot plate*, *orbital shaker*, mikroskop, spektrofotometer, dan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS)

Rancangan Percobaan

Penelitian *screening* isolat pasir besi terhadap toleransi logam Pb dilakukan dengan metode survei. Jenis bakteri yang berpotensi kemudian diaplikasikan pada limbah cair batik.

Aplikasi bioremediasi limbah cair batik menggunakan Rhizobakteria dilakukan secara eksperimental dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) split-plot. Main plot dalam penelitian yakni isolat Rhizobakteria (3 taraf), sedangkan subplot dari penelitian yakni variasi pH (3 taraf). Main plot terdiri dari 3 taraf yaitu: 3 isolat Rhizobakteria yang paling potensial dari hasil *screening*. Subplot terdiri dari 3 taraf yaitu pH 5; 5,5; dan 6. Masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 27 unit percobaan.

Variabel dan Parameter Penelitian

Variabel bebas adalah isolat Rhizobakteria dan pH, sedangkan variabel tergantung adalah kemampuan Rhizobakteria dalam menurunkan konsentrasi Pb. Parameter utama yang diamati adalah konsentrasi Pb sebelum dan sesudah perlakuan, sedangkan parameter pendukungnya adalah jumlah populasi bakteri.

Cara Kerja Penelitian

- a. Persiapan limbah cair batik

Limbah cair batik diambil dari sentra industri batik di Dusun Kauman, Desa Sokaraja Tengah, Kecamatan Sokaraja, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Limbah cair batik yang digunakan yakni limbah akhir sisa pewarnaan dan pencelupan produksi batik. Limbah cair batik yang diambil yakni sebanyak 3 liter menggunakan derigen.

- b. *Screening* isolat potensial¹⁶

Sebanyak 0,1 mL isolat diinokulasikan ke dalam 5 mL medium NB dan 5 mL medium NB yang ditambahkan PbNO₃ sebanyak 110 mg/L, kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Kepadatan inokulum kultur diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm.¹⁶ Kultur yang terpilih yakni kultur yang memiliki nilai selisih yang paling rendah antara nilai absorbansi pada medium NB dan nilai absorbansi pada isolat yang ditumbuhkan pada medium NB yang telah ditambah PbNO₃. Isolat yang dianggap paling potensial dibuat stok kultur menggunakan medium NB.

- c. Pembuatan inokulum bakteri¹⁷

Pengukuran kepadatan inokulum menggunakan metode spektrofotometri. Sebanyak satu ose isolat diinokulasikan ke dalam 5 mL medium NB cair dan diinkubasi selama 1×24 jam. Sebanyak 1 mL kultur diinokulasikan ke dalam 50 mL NB cair dan diinkubasi selama 1×24 jam. Kemudian dibuat beberapa kepadatan dengan pengencer NB, lalu ditentukan nilai *optical density* menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600nm. Dari setiap pengenceran diinokulasikan pada medium NA dengan metode *Total Plate Count* (TPC) lalu diinkubasi 1×24 jam. Hasil perhitungan TPC dikorelasikan dengan nilai *optical density* untuk selanjutnya dibuat persamaan regresi. Inokulum yang diperlukan yakni inokulum dengan kepadatan 10⁸ sel/mL.

- d. Pengujian kemampuan isolat Rhizobakteria dalam menurunkan kadar Pb limbah cair batik¹³

Limbah cair batik diatur pH-nya menjadi 5; 5,5; dan 6 dengan menambahkan NaOH jika terlalu asam dan HCl jika terlalu basa. Limbah cair batik yang pH-nya sudah teratur sesuai dengan pH perlakuan digunakan sebagai larutan stok. Limbah cair dituang ke erlenmeyer volume 250 mL masing-masing sebanyak 100 mL. Setiap Erlenmeyer ditambah 10 mL inokulum. Proses bioremediasi dilakukan dalam *orbital shaker* selama 21 hari.

- e. Pengukuran konsentrasi Pb limbah cair batik²

Limbah cair batik yang telah diinkubasi dipisahkan antara bakteri dengan limbah cair batik menggunakan *membrane filter* ukuran 0,22µm. Hasil penyaringan diambil sebanyak 50 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer ukuran 100 mL. Limbah dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 180°C hingga tersisa 10-20 mL. Limbah kemudian ditambahkan 5 mL HNO₃ pekat dan 2 mL HCL 20% dan dipanaskan hingga larutan menjadi jernih. Limbah disaring dengan kertas Whatman no 42. Filtrat yang diperoleh kemudian diencerkan dengan akuades menggunakan labu ukur 50 mL hingga tanda tera dan dilakukan pengukuran absorbansi Pb dengan alat AAS dengan panjang gelombang 283,3 nm.

- f. Pembuatan larutan standar dan kurva standar logam Pb¹⁸

Larutan standar merupakan indikator untuk mengetahui kandungan logam berat dari sampel yang dianalisis. Larutan standar logam Pb dibuat dengan melarutkan sebanyak 0,1 mL larutan induk Pb (1000 ppm) yang dituang ke labu ukur 10 mL, lalu diencerkan dengan akuabides sampai garis batas dan diperoleh larutan konsentrasi 100 ppm. Larutan konsentrasi 100 ppm diencerkan menjadi 0,2 ppm; 0,4 ppm; 0,6 ppm; 0,8 ppm; dan 1 ppm. Kemudian diukur absorbansinya menggunakan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm. Nilai absorbansi dibuat hubungan antara konsentrasi Pb (sebagai absis) dan nilai absorbansi (sebagai ordinat) dengan analisis regresi linier sehingga didapatkan persamaan $Y = a + bx$.

g. Kapasitas adsorpsi timbal²

Perhitungan kapasitas adsorpsi timbal menggunakan Persamaan 1:

$$q = \frac{V(C_s - C_{eq})}{v} \quad (1)$$

Keterangan: q = kapasitas adsorpsi (mg/L)
 V = volume larutan (L)
 V = volume bioremediator (L)
 C_o = konsentrasi awal logam (mg/L)
 C_{eq} = konsentrasi akhir logam (mg/L)

Konsentrasi awal adalah konsentasi timbal sebelum perlakuan bioremediasi. Konsentrasi akhir adalah konsentrasi timbal setelah perlakuan bioremediasi (kontak dengan Rhizobakteria).

Analisis Data

Data yang diperoleh berupa nilai kapasitas adsorpsi Pb oleh Rhizobakteria dianalisis menggunakan ANOVA pada tingkat kepercayaan 95% untuk mengetahui adanya pengaruh perlakuan pH dan isolat Rhizobakteria. Hasil perlakuan pH yang berbeda sangat nyata dilanjutkan dengan Uji Berganda Duncan untuk mengetahui pH yang paling optimum dalam mengadsorpsi logam Pb.

HASIL DAN PEMBAHASAN

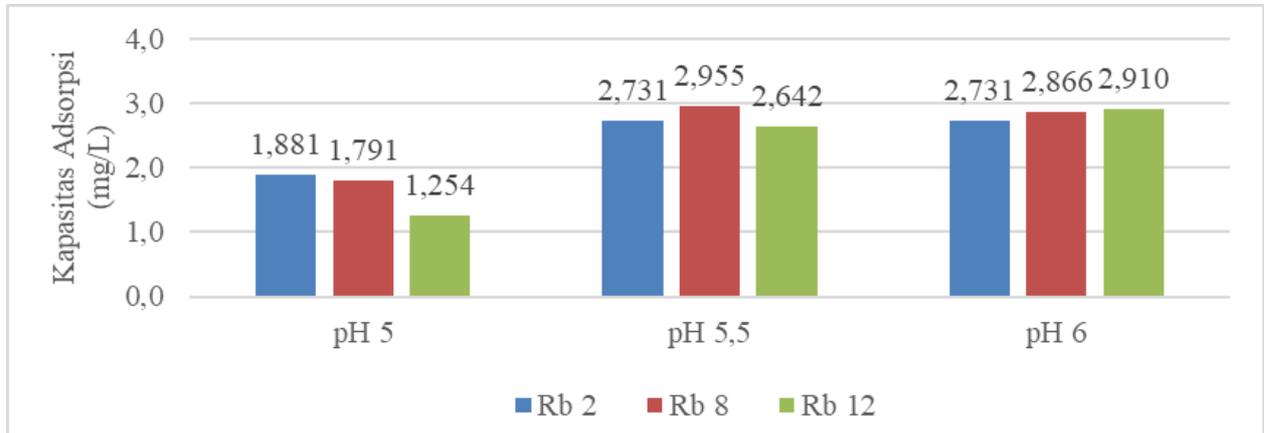
Berdasarkan hasil *screening* (Tabel 1) diketahui bahwa 6 dari 11 isolat Rhizobakteria toleran terhadap Pb pada konsentrasi 110 mg/L secara *in vitro*. Isolat Rhizobakteria dianggap toleran terhadap Pb diindikasikan dengan adanya peningkatan pertumbuhan Rhizobakteria. Isolat Rhizobakteria yang tidak toleran terhadap logam Pb ditunjukkan dengan menurunnya pertumbuhan Rhizobakteria. Penurunan pertumbuhan Rhizobakteria dapat dilihat dari nilai minus (-) pada data peningkatan pertumbuhan Rhizobakteria (Tabel 1). Rhizobakteria yang toleran terhadap logam Pb secara *in vitro* di antaranya yakni isolat Rb2, Rb6, Rb8, Rb10, Rb11, dan Rb12. Peningkatan pertumbuhan bakteri setelah penambahan logam mengindikasikan bahwa isolat-isolat tersebut berpotensi sebagai bioremediator logam berat Pb. Isolat yang dipilih untuk percobaan selanjutnya adalah 3 isolat yang memiliki tingkat toleransi Pb terbesar yakni isolat Rb2, Rb8, dan Rb12. Hasil tersebut didasarkan pada adanya peningkatan pertumbuhan bakteri setelah penambahan logam Pb. Masing-masing isolat memiliki batas maksimum toleransi yang berbeda terhadap logam Pb yang ditunjukkan dengan perbedaan tingkat pertumbuhan bakteri.¹⁹

Tabel 1. Hasil seleksi (*screening*) isolat Rhizobakteria yang toleran terhadap Pb secara *in vitro*

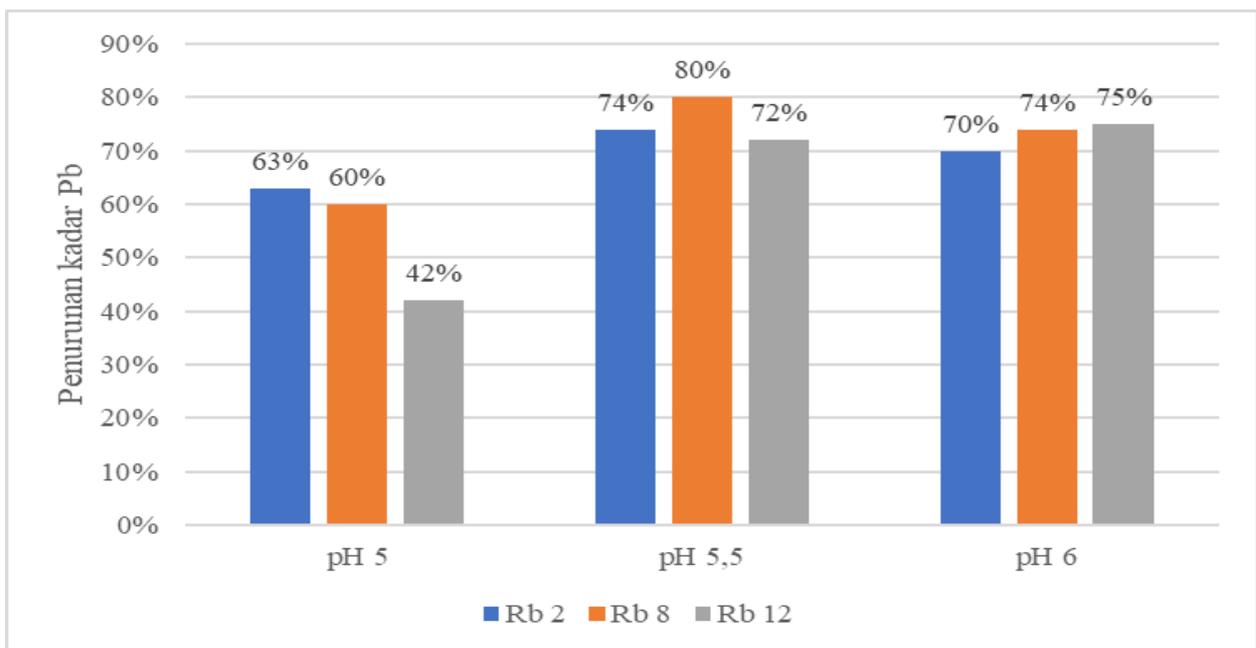
Isolat	Absorbansi Kepadatan Populasi Berdasarkan OD		Peningkatan Pertumbuhan Rhizobakteria (B-A)
	Sebelum Penambahan Pb (A)	Setelah Penambahan Pb (B)	
Rb1	0,584	0,478	-0,106
Rb2	1,055	1,205	0,150
Rb3	0,716	0,482	-0,235
Rb4	0,883	0,810	-0,073
Rb5	1,245	0,936	-0,308
Rb6	0,494	0,542	0,047
Rb7	0,343	0,213	-0,131
Rb8	0,876	1,088	0,212
Rb10	1,396	1,459	0,062
Rb11	1,372	1,393	0,021
Rb12	1,227	1,329	0,103

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi Pb paling tinggi diperoleh pada perlakuan isolat Rb8 dan pH 5,5 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,955 mg/L (Gambar 1). Isolat Rb8 pada pH 5,5 mampu menurunkan Pb pada limbah hingga 80% (Gambar 2). Ikerismawati (2019) menyatakan bahwa beberapa bakteri mampu menurunkan kadar logam Pb pada limbah hingga sebesar 79,31-83%.¹³ Interaksi antara logam dan bakteri terjadi melalui *biosorption, bioleaching enzyme-catalysed transformation*, dan

biomineralization. Mekanisme *biosorption* merupakan mekanisme penyerapan logam ke dalam biomassa melalui penyerapan muatan positif kation logam. Mekanisme *bioleaching* merupakan mekanisme mobilisasi logam dengan cara memproduksi asam organik atau asam sulfat yang dapat membentuk kelat logam. Mekanisme *transformation enzyme-catalysed* merupakan mekanisme perubahan enzim katalitik sebagai respon adanya pengaruh eksternal. Mekanisme *biomineralization* merupakan mekanisme imobilisasi logam dengan pengubahan logam fosfat yang sangat larut menjadi biomineral fosfat yang tidak larut oleh bakteri.²⁰



Gambar 1. Kapasitas adsorpsi Pb oleh Rhizobakteria



Gambar 2. Penurunan kadar Pb oleh Rhizobakteria

Hasil analisis ragam (Tabel 2) menunjukkan bahwa perlakuan jenis isolat dan perlakuan kombinasi jenis isolat dan pH pada tingkat kepercayaan 95% tidak memberikan pengaruh yang nyata. Hal tersebut diketahui dari nilai F-hitung yang lebih kecil dibandingkan dengan F-tabel. Perlakuan pH sebaliknya memberikan pengaruh yang nyata pada tingkat kepercayaan 95% terhadap proses bioremediasi yang diketahui dari nilai F hitung yang lebih besar dibandingkan dengan F tabel. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pH memiliki pengaruh yang besar terhadap proses bioremediasi logam oleh isolat Rhizobakteria. Maulana *et al.* (2017) menyatakan bahwa pH berpengaruh terhadap aktivitas bakteri dalam proses biosorpsi logam.¹⁵

Tabel 2. Analisis ragam kapasitas adsorpsi Pb pada limbah cair batik oleh Rhizobakteria

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F-hitung	F-tabel
Isolat	2	0,337	0,168	0,522	5,14
Galat isolat	6	1,935	0,322		
pH	2	8,147	4,073	7,537*	3,37
Isolat*Ph	4	0,561	0,140	0,259	2,74
Galat pH	12	6,486	0,540		
Total	26	17,464			

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH memiliki pengaruh yang besar terhadap proses bioremediasi logam oleh isolat Rhizobakteria, sehingga dilakukan uji lanjut unntuk mengetahui pH yang optimum dalam proses penurunan kadar logam Pb pada limbah cair batik. Berdasarkan hasil uji lanjut menggunakan uji Berganda Duncan pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi Pb oleh isolat Rhizobakteria (Tabel 3) dapat diketahui bahwa pH optimum dalam menurunkan konsentrasi logam Pb yaitu pH 5,5-6. Hasil yang diperoleh sesuai dengan Maulana *et al.* (2017) bahwa pH optimum dalam proses biosorpsi menggunakan Rhizobakteria adalah pH yang mendekati netral.¹⁵ Tingkat keasaman mendekati keadaan netral lebih optimum dalam mengatur homeostatis pH. Homeostatis pH terjadi saat adanya transport anion dan kation di membran pada konsentrasi tercekam pH. Kondisi lingkungan yang asam menyebabkan terjadinya difusi H⁺ dari lingkungan ke dalam sel karena saat kondisi lingkungan asam konsentrasi H⁺ di luar sel lebih banyak dibanding di dalam sel. Kondisi lingkungan yang terlalu asam dapat membuat akumulasi H⁺ yang berlebih dan menyebabkan pori tersumbat, *proton motif force* terhambat, dan permeabilitas membran terganggu. Efek tersebut membuat keadaan pH yang asam mendekati netral lebih optimum dalam proses biosorpsi logam.²¹

Tabel 3. Kapasitas adsorpsi logam Pb limbah cair batik yang diberi perlakuan pH

pH	Rataan kapasitas adsorpsi Pb (mg/L)
5	1.642 a
5.5	2.776 b
6	2.836 b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan Uji Berganda Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Hasil penelitian jumlah populasi bakteri (Tabel 4) dapat diketahui bahwa isolat Rb2 mengalami penurunan jumlah populasi di akhir proses bioremediasi pada semua variasi pH. Jumlah populasi isolat Rb8 dan Rb12 mengalami peningkatan pada pH 5 dan pH 5,5; sedangkan pada pH 6 mengalami penurunan di akhir proses bioremediasi. Isolat Rb8 pada pH 5,5 mengalami peningkatan jumlah populasi bakteri yang sejalan dengan tingginya nilai penurunan kadar Pb pada limbah cair batik yakni sebesar 80%. Uno & Thalib (2020), menyatakan bahwa tingginya penurunan kadar logam berat diakibatkan oleh meningkatnya jumlah sel bakteri. Banyaknya sel bakteri yang ada mempercepat proses degradasi, karena lebih banyak bakteri yang melakukan bioakumulasi dan biosorpsi logam berat.²²

Tabel 4. Jumlah populasi Rhizobakteria sebelum dan sesudah bioremediasi

Isolat		pH 5 (Cfu's/mL)	pH 5,5 (Cfu's/mL)	pH 6 (Cfu's/mL)
Rb2	Sebelum	$4,00 \times 10^7$	$1,76 \times 10^7$	$7,70 \times 10^6$
	Sesudah	$6,10 \times 10^6$	$1,31 \times 10^7$	$6,88 \times 10^6$
Rb8	Sebelum	$1,15 \times 10^7$	$1,20 \times 10^7$	$1,30 \times 10^7$
	Sesudah	$1,28 \times 10^7$	$1,61 \times 10^7$	$1,93 \times 10^6$
Rb12	Sebelum	$5,60 \times 10^6$	$3,50 \times 10^6$	$3,00 \times 10^7$
	Sesudah	$9,50 \times 10^6$	$8,18 \times 10^6$	$5,18 \times 10^6$

Jumlah populasi bakteri pada isolat Rb2 pada semua pH uji (pH 5; 5,5; dan 6), isolat Rb8 dan Rb12 pada pH 6 masing-masing mengalami penurunan jumlah populasi. Maulana et al. (2017) menyatakan bahwa penurunan jumlah populasi dapat disebabkan karena adanya kompetisi antar bakteri dalam mendapatkan nutrisi.¹⁵ Perbedaan jumlah populasi bakteri yang diperoleh juga disebabkan karena bakteri memiliki proses adaptasi yang berbeda-beda pada tiap media dan tingkat resistensi dari masing-masing bakteri. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri memiliki perbedaan pola pertumbuhan dan periode waktu dalam beradaptasi.²³

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Sebanyak 6 isolat Rhizobakteria (Rb 2, Rb 6, Rb 8, Rb 10, Rb 11, dan Rb 12) toleran terhadap Pb konsentrasi 110mg/L secara *in vitro*.
2. Isolat Rhizobakteria yang terpilih (Rb 2, Rb 8, dan Rb 12) mampu menurunkan konsentrasi Pb pada limbah cair batik sebesar 42%- 80%.
3. Tingkat keasaman (pH) limbah yang paling optimum untuk degradasi Pb oleh Rhizobakteria yakni pH 6.

Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai identitas Rhizobakteria yang mampu menurunkan konsentrasi logam pada limbah cair batik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Putra, A. W., & Fitri, W. E. Karakterisasi Pertukaran Ion Timbal (II) dengan Kalsium pada Proses Biosorpsi Alga Hijau *Cladophora fracta*. *Jurnal Ipteks Terapan*, **10** (2), pp. 103-111 (2016).
2. Lestari, S., Dewi, R. S., & Wibowo, E. S. Biosorption Chrome (Cr) and Dyes using Biosorbent in the Modified Tea Bag. *Journal of Microbial Systematics and Biotechnology*, **1**(1), pp. 38-43 (2019).
3. Susilowati, E., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. Sintesis Kitosan-Silika Bead sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Pb(II) pada Limbah Cair Batik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, **7**(2), pp. 1-9 (2018).
4. Sitorus, H. Analisis Beberapa Parameter Lingkungan Perairan yang Mempengaruhi Akumulasi Logam Berat Timbal dalam Tubuh Kerang Darah di Perairan Pesisir Timur Sumatera Utara. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan*, **19**(1), pp. 374-384 (2011).
5. Ratnawati, E., Ermawati, R., & Naimah, S. Teknologi Biosorpsi oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, **32**(1), pp. 34-40 (2010).
6. Aminah, U., & Nur, F. Biosorpsi Logam Berat Timbal (Pb) Oleh Bakteri. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, **12**(1), pp. 50-70 (2018).
7. Kurniawan, A., & Ekowati, N. Review: Mikoremediasi Logam Berat. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, **3**(2), pp. 36-45 (2016).
8. Sugianto, S. K., Shovitri, M., & Hidayat, A. Potensi Rhizobakteria sebagai Pelarut Fosfat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **7**(2), pp. 71-74 (2018).
9. Ramadhani, N. A., Hazra, F., & Widyati, E. Pengaruh Pemangkasan dan Pemupukan terhadap Dinamika Rhizosfer Tanaman Kilemo (*Litsea cubeba*). *Buletin Tanah dan Lahan*, **1**(1), pp.1-7 (2017).
10. Kamaruzzaman, M. A., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Hassan, M., Othman, A. R., & Idris, M. Characterisation of Pb-resistant plant growth-promoting Rhizobakteria (PGPR) from *Scirpus grossus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **23**, pp. 1-7 (2020).
11. Pal, A. K., & Sengupta, C. Isolation of Cadmium and Lead Tolerant Plant Growth Promoting *Rhizobakteria*: *Lysinibacillus varians* and *Pseudomonas putida* from Indian Agricultural Soil. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, **28**(7), pp. 601-629 (2019).
12. Singh, R., Pathak, B., & Fulekar, M. H. Characterization of PGP Traits by Heavy Metals Tolerant *Pseudomonas putida* and *Bacillus safensis* Strain Isolated from Rhizospheric Zone of Weed (*Phyllanthus urinaria*) and its Efficiency in Cd and Pb Removal. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, **4**(7), pp. 954-975 (2015).
13. Ikerismawati, S., Bioremediasi Pb oleh Bakteri Indigen Limbah Cair Agar. *Jurnal Biosilampari: Jurnal Biologi*, **1**(2), pp. 51-58 (2019).
14. Ibrahim, D. M., Prasetya, A. T., & Haryani, S. Optimasi Adsorpsi Pb (II) oleh Biomassa *Aspergillus niger* yang Diimobilisasi pada Silika Gel. *Indonesian Journal of Chemical Science*, **4**(2), pp. 80-83 (2015).
15. Maulana, A., Supartono, S., & Mursiti, S. Bioremediasi Logam Pb pada Limbah Tekstil dengan *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*. *Indonesian Journal of Chemical Science*, **6**(3), pp. 256-261 (2017).
16. Darokar, A. S., Shanware, A. S. Exploring Competence of Fluorescent *Pseudomonas* spp. for Heavy Metal Tolerance. *World Journal of Pharmaceutical Research*, **4**(6), pp. 2241-2252 (2015).
17. Soedjatmiko, K. D., & Ariesyady, H. D. Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri pada Reaktor Wetland. *Jurnal Teknik Lingkungan*, **17**(1), pp. 12-22 (2011).
18. APHA. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (22nd Ed.). New York: American Public Health Association Inc (2012).

19. Fahrudin, F., Santosa, S., & Sareda. Toleransi logam berat timbal (Pb) pada bakteri indigenous dari air laut Pelabuhan Paotere, Makassar (Heavy metal lead [Pb] tolerance of indigenous bacteria from Seawater in Paotere Port, Makassar). *Aquatic Science & Management*, **8(1)**, pp. 8-14 (2020).
 20. Lloyd JR. Bioremediation of metals: the application of microorganism that make and break minerals. *Microbiol Today*, **vol. 29**, pp. 67-69 (2002).
 21. Fitria, A. N., & Zulaika, E. Aklimatisasi pH dan Pola Pertumbuhan Bacillus cereus S1 pada Medium MSM Modifikasi. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **7(2)**, pp. 39-41 (2019).
 22. Uno, W. D., & Thalib, S. R. Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg) oleh Bakteri Bacillus subtilis pada Sedimen Danau Limboto. *Jambura Edu Biosfer Journal*, **2(1)**, pp. 8-12 (2020).
 23. Syari, J. P., Rudiyanayah, R., & Ardiningsih, P. In Vitro Bacteria Capacity Evaluation of Pseudomonas putida and Staphylococcus aureus as Bioremediation Agent for Lead Heavy Metal. *Orbital: Jurnal Ilmu dan Terapan Kimia*, **3(1)**, pp.16-27 (2018).
-

BIOREMEDIASI LOGAM Zn LIMBAH CAIR BATIK MENGGUNAKAN RHIZOBAKTERIA ASAL PASIR BESI

BIOREMEDIATION OF Zn BATIK WASTEWATER USING RHIZOBACTERIA FROM IRON SAND

Lesya Suryani Samsudin, Sri Lestari, Oedjijono

Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman, Jl. dr. Suparno 63 Purwokerto, Telp. 0281638794
E-mail: srilestari.bio@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair industri batik mengandung logam seng (Zn). Keracunan Zn akan menyebabkan mual, muntah, dan diare. Konsentrasi logam Zn dalam limbah cair batik dapat diturunkan secara biologis melalui proses bioremediasi. Tujuan penelitian adalah menyeleksi isolat rhizobakteria yang toleran terhadap logam Zn secara *in vitro* dan mengetahui kemampuan isolat rhizobakteria dan pH terbaik dalam menurunkan konsentrasi logam Zn limbah cair batik. Metode penelitian meliputi seleksi rhizobakteria yang toleran terhadap logam Zn dilakukan dengan mengukur viabilitas bakteri dalam media mengandung logam Zn. Rhizobakteria yang toleran terhadap logam Zn diujikan pada proses bioremediasi logam Zn limbah cair batik menggunakan 3 perlakuan pH (pH 5; 5,5; dan 6). Kemampuan isolat rhizobakteria dalam menurunkan logam Zn dilakukan secara eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) menggunakan *split plot design*. Perlakuan yang dicobakan yaitu isolat rhizobakteria sebagai *main plot* dan perlakuan pH sebagai sub plot. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik paling tinggi pada perlakuan pH 5,5 dengan penurunan konsentrasi logam Zn sebesar 43,20% dari 0,279 ppm menjadi 0,159 ppm. Proses bioremediasi menggunakan rizobakteri dapat diaplikasikan pada proses pengolahan limbah cair batik.

Kata kunci: bioremediasi, limbah cair batik, logam Zn, rhizobakteria

ABSTRACT

The batik industry wastewater contains zinc (Zn). Zn poisoning will cause nausea, vomiting, and diarrhea. The concentration of Zn metal in batik liquid waste can be lowered biologically through a bioremediation process. This research aimed to select rhizobacteria isolates that were tolerant of Zn metal in vitro and to determine the ability of rhizobacteria isolates and the best pH in reducing the Zn concentration of batik wastewater. The research method included the selection of rhizobacteria that were tolerant of Zn metal by measuring the viability of bacteria in media containing Zn metal. Rhizobacteria that are tolerant of Zn were tested in the Zn bioremediation process of batik wastewater using 3 pH treatments (pH 5; 5,5; and 6). The ability of rhizobacteria isolates to reduce Zn metal was carried out experimentally with a completely randomized design (RAL) using a split-plot design. The treatments tested were rhizobacteria isolates as the main plot and pH treatment as a subplot. The results showed that the decrease in the Zn concentration of batik wastewater was highest in the pH 5,5 treatment with a decrease in the Zn metal concentration of 43,20% from 0,279 ppm to 0,159 ppm. The bioremediation process using rhizobacteria can be applied to the batik wastewater treatment process.

Keywords: bioremediation, batik wastewater, Zn metal, rhizobacteria

PENDAHULUAN

Sentra batik Sokaraja merupakan kumpulan dari beberapa industri batik rumahan yang membuang limbahnya ke Kali Wangan sehingga berpotensi mencemari lingkungan.¹² Industri batik adalah industri kecil atau *home industry* sehingga debit limbah yang dihasilkan tidak banyak tetapi menyebar. Kondisi di lapangan menunjukkan sebagian besar limbah tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Pengolahan yang paling umum digunakan adalah pengendapan secara konvensional atau menampung limbah dalam suatu tampungan.²⁶ Limbah cair industri batik mengandung bahan organik, padatan tersuspensi dan logam berat berbahaya seperti seng (Zn), kadmium (Cd), tembaga (Cu), krom (Cr) dan timbal (Pb).²⁴

Seng (Zn) merupakan elemen esensial yang dibutuhkan makhluk hidup untuk mengatur fungsi fisiologis. Logam Zn memainkan peran biologis pada proses katalitik dan struktural pada enzim oksidoreduktase, transferase, hidrolase, liase, isomerase, dan ligase.⁶ Logam Zn termasuk kedalam *trace mineral*, artinya dibutuhkan oleh tubuh relatif sedikit.²⁰ Konsentrasi Zn dalam perairan yang melebihi batas ambang dapat membahayakan kehidupan organisme karena bersifat toksik.²¹ Akumulasi Zn dari industri tekstil dalam

jaringan manusia terus-menerus dapat bersifat karsinogenik. Keracunan Zn dalam jumlah besar akan menyebabkan mual, muntah-muntah, diare, dan gangguan pada perut.²⁰ Analisis kandungan logam berat pada sungai di Jawa Tengah untuk cemaran limbah batik memperoleh hasil kadar logam seng (Zn) sebesar 133,417 ppm lebih tinggi dibanding logam tembaga (Cu) sebesar 25,697 ppm.²²

Bioremediasi adalah proses pengolahan limbah organik oleh organisme hidup pada kondisi terkendali menjadi suatu bahan yang tidak berbahaya atau konsentrasinya di bawah baku mutu yang ditentukan. Salah satu agen bioremediasi yang dapat diaplikasikan adalah bakteri.¹⁹ Bioremediasi dapat dilakukan dengan bioaugmentasi dan biostimulasi. Bioaugmentasi merupakan proses penambahan mikroorganisme asli ataupun yang telah direkayasa ke lingkungan tercemar.² Biostimulasi merupakan proses penambahan nutrisi, oksigen, optimalisasi pH dan temperatur untuk merangsang pertumbuhan mikroorganisme asli agar dapat tumbuh dan berkembang biak pada lingkungan yang tercemar.⁷

Laju degradasi logam oleh mikroba dipengaruhi beberapa faktor, yaitu aktivitas mikroba, derajat keasaman dan faktor lingkungan.⁸ Nilai pH memainkan peran paling penting dalam penentuan spesiasi logam, kelarutan logam dan ketersediaan logam.⁹ Biosorpsi logam Cr limbah cair batik menggunakan rhizobakteria asal pasir besi optimal pada pH 5-6.¹¹ Serapan logam Zn menurun pada pH dibawah 5 dan pH diatas 6. Penurunan konsentrasi logam Zn rendah pada pH di bawah 5 dikarenakan jumlah ion H⁺ dalam larutan lebih banyak sehingga terdapat persaingan antara ion H⁺ dan ion logam Zn²⁺ untuk berikatan dengan gugus fungsi bakteri. Penurunan serapan logam pada pH 6 dikarenakan jumlah OH⁻ pada larutan bertambah sehingga mempengaruhi gugus fungsi bakteri. Bertambahnya OH⁻ pada larutan dapat meningkatkan persaingan antara gugus fungsi bakteri dan ion OH⁻ untuk berikatan dengan ion logam.¹⁸

Rhizobakteria merupakan bakteri rizosfer yang berperan dalam menurunkan kadar logam berat yang ada di lingkungan.³ Beberapa jenis Rhizobakteria yang hidup di daerah rizosfer adalah Azospirillum, Azotobacter, Enterobacter, Pseudomonas dan Bacillus. *Bacillus* sp. memiliki kapasitas serapan logam Zn limbah cair industri tekstil yang optimum pada pH 5,5 menggunakan proses biosorpsi dengan penurunan logam Zn sebesar 33%. Biosorpsi logam Zn oleh bakteri menggunakan proses pertukaran ion. Penurunan konsentrasi logam terjadi karena ion logam terikat pada dinding sel dan permukaan luar biomassa. Proses biosorpsi melibatkan partisipasi aktif dari gugus fungsi bakteri seperti gugus fosforil, karboksil, karbonil, sulfhidril, dan gugus hidroksil untuk mengikat ion logam.²⁵

Mikroorganisme dapat berinteraksi dengan logam berat melalui banyak mekanisme. Mekanisme biosorpsi, *bioleaching*, biomineralisasi, dan transformasi enzim yang dikatalisis.⁵ Biosorpsi merupakan proses penyerapan logam secara pasif oleh sel mikroorganisme menggunakan penyusun dinding sel mikroorganisme, kapsul, atau polimer ekstraseluler yang disintesis dan diekresikan oleh mikroorganisme tersebut.⁹ Efisiensi biosorpsi logam berat oleh biomassa mikroba berhubungan dengan struktur penyusun dinding sel mikroorganisme karena menentukan interaksi alami antara mikroorganisme dan kation logam.¹³ *Bioleaching* adalah proses pemisahan logam dari mineralnya dengan bantuan aktivitas mikroorganisme.¹⁵ Biomineralisasi adalah reduksi logam berat menjadi presipitat yang dilakukan oleh mikroorganisme dalam kondisi aerob. Biomineralisasi melibatkan bakteri pereduksi sulfat yang mampu memproduksi H₂S untuk mempresipitasi logam.⁹

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 11 isolat rhizobakteria (Rb1, Rb2, Rb3, Rb4, Rb5, Rb6, Rb7, Rb8, Rb10, Rb11, Rb12) koleksi Dr. Sri Lestari, S.Si., M.Si, ZnSO₄, HNO₃ pekat, HCl 20%, kertas Whatman no 42, membran filter ukuran 0,22 µm, label, alkohol 70%, akuades, medium *Nutrient Agar* (NA) dan medium *Nutrient Broth* (NB).

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah timbangan analitik, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), mikropipet, tip, *incubating shaker*, labu Erlenmeyer 250 mL, pH meter, gelas ukur 50 mL, labu takar 50 mL, pipet volume 10 ml dan 5 ml, tabung reaksi dan cawan.

Metodologi Penelitian

Seleksi rhizobakteria yang toleran terhadap logam Zn pada limbah cair batik dilakukan dengan metode survei secara deskriptif menggunakan uji viabilitas dalam medium mengandung Zn. Kemampuan isolat rhizobakteria dalam menurunkan konsentrasi logam Zn pada limbah cair batik dilakukan secara eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan *Split Plot Design*. Perlakuan yang dicobakan yaitu isolat rhizobakteria sebagai main plot dan perlakuan pH sebagai sub plot. Perlakuan isolat rhizobakteria menggunakan 3 isolat rhizobakteria yang toleran terhadap logam Zn. Perlakuan pH terdiri atas 3 taraf, yaitu P1

= pH 5, P2 = pH 5,5 dan P3 = pH 6. Setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh 27 unit percobaan.

Variabel bebas penelitian adalah isolat rhizobakteria dan variasi pH. Variabel tergantung adalah penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik. Parameter utama yang diamati adalah penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik sebelum dan sesudah bioremediasi, sedangkan parameter pendukungnya adalah jumlah populasi rhizobakteria sebelum dan sesudah perlakuan.

Cara Kerja

1. Peremajaan Isolat dan Pembuatan Kultur Rhizobakteria

Isolat rhizobakteria diremajakan pada medium *Nutrient Agar* (NA) miring dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Isolat yang tumbuh ditanam dalam medium *Nutrient Broth* (NB) diinkubasi selama 48 jam pada suhu ruang. Biakan yang tumbuh digunakan untuk seleksi isolat rhizobakteria yang memiliki toleransi terhadap logam Zn.

2. Seleksi Isolat Rhizobakteria yang Toleran terhadap Logam Zn

Sebelas isolat rhizobakteria hasil peremajaan, masing-masing diambil sebanyak 0,1 mL diinokulasikan ke dalam 5 mL medium NB dan 5 mL medium NB yang ditambahkan $ZnSO_4$ sebanyak 270 $\mu g/mL$. Masing-masing konsentrasi dibuat sebanyak 3 kali ulangan. Seluruh kultur percobaan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Untuk mengetahui adanya pertumbuhan bakteri, setiap kultur percobaan dilakukan pengukuran menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Kultur yang memiliki nilai absorbansi tinggi menunjukkan bahwa nilai turbiditas tinggi sehingga menandakan adanya pertumbuhan bakteri yang toleran terhadap logam Zn. Beberapa isolat rhizobakteria yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam Zn dipilih untuk percobaan bioremediasi limbah cair batik.

3. Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Populasi Rhizobakteria menggunakan Metode Spektrofotometri dan *Total Plate Count* (TPC)

Pembuatan kurva pertumbuhan dilakukan terhadap isolat-isolat rhizobakteria yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam Zn. Isolat bakteri toleran terhadap logam Zn ditumbuhkan pada medium NB 50 mL dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Kultur bakteri diencerkan menggunakan medium NB dengan konsentrasi 20%, 10%, 5% dan 2,5%, selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 600 nm. Kultur bakteri pada masing-masing konsentrasi diambil sebanyak 1 mL dan diinokulasikan pada 9 mL akuades steril dan dilakukan pengenceran bertingkat sampai 10^{-6} . Dua pengenceran terakhir (10^{-5} dan 10^{-6}) diambil 1 mL dan diinokulasikan pada medium NA secara *pour plate* untuk pengukuran TPC. Cawan diinkubasi 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya dilakukan perhitungan koloni menggunakan rumus TPC, angka yang didapatkan dari hasil absorbansi (nilai OD) dan nilai TPC dimasukkan ke dalam persamaan regresi untuk membuat kurva standar pertumbuhan bakteri. Analisis regresi dilakukan dengan meregresikan nilai absorbansi dan jumlah koloni kedalam persamaan garis kurva standar $y = ax + b$, dimana y = jumlah bakteri, dan x = besarnya nilai absorbansi yang didapatkan.

4. Percobaan Bioremediasi Limbah Cair Batik oleh Rhizobakteria menggunakan Variasi pH pada Skala Laboratorium

Limbah cair batik diambil dari Sentra Batik Sokaraja di Dusun Kauman, Desa Sokaraja Kulon Kecamatan Sokaraja, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Limbah cair batik yang digunakan adalah sisa pewarnaan dan pencelupan. Sebanyak 3 L limbah cair batik dimasukkan ke dalam wadah yang berbeda, setiap wadah berisi 1 L limbah cair batik. pH limbah cair batik pada masing-masing wadah diukur ditetapkan pHnya 5; 5,5; dan 6 menggunakan pH meter.

Percobaan bioremediasi skala laboratorium dilakukan dengan menyiapkan labu Erlenmeyer volume 250 mL sebanyak 36 buah. Setiap labu Erlenmeyer diisi 90 mL limbah cair batik dengan pH yang berbeda (5; 5,5 dan 6) dan ditambahkan 10 mL kultur bakteri sesuai dengan kepadatan sebesar 10^8 CFU/mL. Kultur percobaan dalam labu Erlenmeyer dihomogenkan kemudian diinkubasi dalam *incubating shaker* dengan kecepatan 120 rpm pada suhu ruang selama 30 hari. Setelah periode inkubasi selesai seluruh unit percobaan disaring menggunakan membran filter ukuran 0,22 μm untuk memisahkan limbah cair batik dengan isolat bakteri.

Pengukuran konsentrasi logam Zn dilakukan dengan cara mengambil 50 mL filtrat hasil penyaringan dan dipanaskan pada *hot plate* dengan suhu 180°C hingga tersisa 10-20 mL, sebanyak 5 mL HNO_3 pekat dan 2 mL HCl 20% ditambahkan dan dipanaskan kembali hingga jernih. Larutan disaring menggunakan kertas Whatman No. 42, larutan kemudian diencerkan menggunakan akuades hingga

volume mencapai 50 mL. Filtrat diukur absorbansi Zn dengan alat AAS pada panjang gelombang 213,9 nm.

Pengukuran jumlah koloni bakteri dilakukan sebelum dan sesudah proses bioremediasi menggunakan metode TPC. Sebanyak 1 mL kultur percobaan ditambahkan 9 mL akuades steril kemudian dilakukan pengenceran bertingkat sampai 10^{-6} . Dua pengenceran terakhir (10^{-5} dan 10^{-6}) diambil 1 mL kemudian diinokulasikan pada medium NA dengan metode *pour plate*. Cawan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Perhitungan jumlah koloni dihitung menggunakan rumus TPC sebagaimana Persamaan 1 berikut.

$$CFU/mL = \text{Rata - rata jumlah koloni} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}} \times \frac{1}{pp} \quad (1)$$

5. Pengukuran Konsentrasi Logam Zn Limbah Cair Batik Setelah Proses Bioremediasi Pembuatan Larutan Standar

Pengukuran konsentrasi logam Zn dilakukan menggunakan alat AAS dengan panjang gelombang 213,9 nm. Penentuan konsentrasi logam Zn pada sampel dibutuhkan adanya kurva larutan standar Zn. Pembuatan larutan standar dilakukan dengan melarutkan $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ sebanyak 0,2198 g menggunakan HNO_3 pekat hingga berbentuk larutan lalu ditambahkan akuades hingga volumenya 500 mL sehingga didapatkan larutan standar induk $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan konsentrasi 100 ppm, larutan standar akan dibuat dengan 6 konsentrasi, yaitu 0 ppm, 0.02 ppm, 0.04 ppm, 0.06 ppm, 0.08 ppm dan 0.10 ppm. Larutan induk diambil sebanyak 0 μ L, 20 μ L, 40 μ L, 60 μ L, 80 μ L dan 100 μ L untuk membuat larutan standar 0 ppm, 0.02 ppm, 0.04 ppm, 0.06 ppm, 0.08 ppm dan 0.10 ppm. Larutan standar dianalisis menggunakan AAS dengan panjang gelombang 213,9 nm.

Kapasitas Serapan Logam Zn oleh Rhizobakteria

Pengukuran kapasitas serapan logam Zn oleh rhizobakteria dilakukan dengan memasukan nilai konsentrasi logam Zn hasil analisis AAS ke dalam Persamaan 2:

$$q = \frac{V(Ce - Ceq)}{v} \quad (2)$$

Keterangan:

- q : Kapasitas adsorpsi (mg/L)
- V : Volume larutan (L)
- v : Volume isolat (L)
- Ce : Konsentrasi logam Zn pada kontrol (mg/L)
- Ceq : Konsentrasi logam Zn pada perlakuan (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seleksi Isolat Rhizobakteria yang Memiliki Toleransi terhadap Logam Zn

Seleksi rhizobakteria dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat rhizobakteria yang toleran terhadap logam Zn. Mikroba yang berpotensi sebagai agen bioremediasi logam berat adalah mikroba yang resisten dan toleran terhadap keberadaan logam berat di lingkungan.¹ Isolat rhizobakteria (Rb1, Rb2, Rb3, Rb4, Rb6, Rb7, Rb8, Rb10, Rb11 dan Rb12) adalah isolat rhizobakteria asal pasir besi yang toleran terhadap logam Cr limbah cair batik.¹² Isolat Rb6, Rb7 dan Rb12 toleran terhadap logam Zn (Tabel 1). Hal tersebut dilihat dari nilai selisih absorbansi yang paling kecil, yaitu nilai selisih antara rata-rata nilai absorbansi kontrol (tanpa penambahan logam) dan perlakuan (dengan penambahan logam) yang artinya isolat tersebut mampu bertahan pada keadaan normal (tanpa penambahan logam) maupun dengan penambahan logam. Ketiga isolat rhizobakteria dianggap potensial dalam menurunkan konsentrasi logam Zn dengan nilai selisih akhir, yaitu pada isolat Rb6 adalah 0,163, isolat Rb7 adalah 0,154 dan isolat Rb12 adalah 0,267.

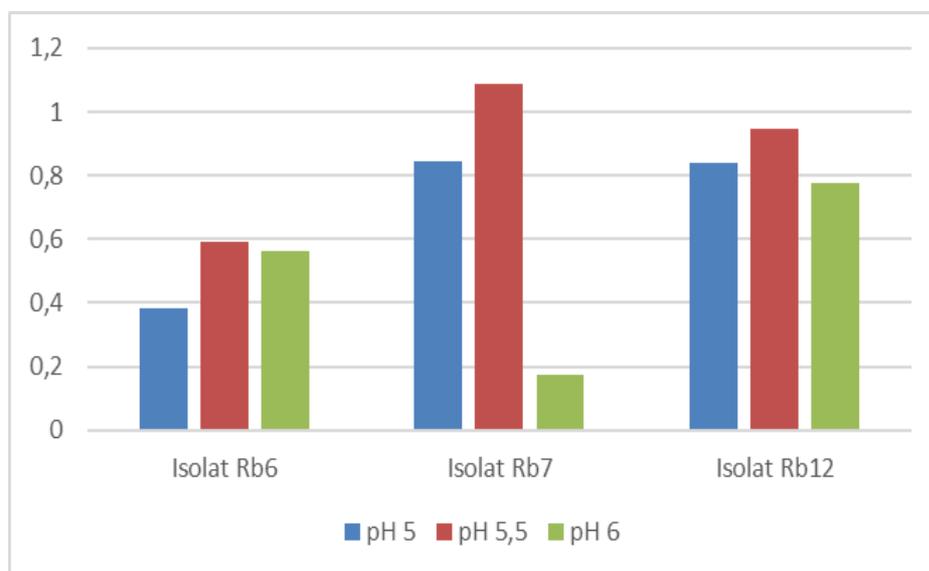
Tabel 1. Selisih Rerata Nilai Absorbansi Kontrol dan Perlakuan pada Seleksi Isolat Rhizobakteria dalam Mentoleransi Logam Zn Limbah Cair Batik secara *In Vitro*

Rhizobakteria	Rata-rata Nilai Absorbansi		Selisih Akhir Nilai Absorbansi Kontrol dan Perlakuan
	Kontrol	Perlakuan	
Isolat Rb1	0,5840	0,247	0,336
Isolat Rb2	1,5530	0,517	0,538

Rhizobakteria	Rata-rata Nilai Absorbansi		Selisih Akhir Nilai Absorbansi Kontrol dan Perlakuan
	Kontrol	Perlakuan	
Isolat Rb3	0,7163	0,440	0,276
Isolat Rb4	0,8830	0,222	0,660
Isolat Rb5	1,2446	0,220	1,024
Isolat Rb6	0,4943	0,331	0,163
Isolat Rb7	0,3433	0,189	0,154
Isolat Rb8	0,8760	0,357	0,519
Isolat Rb10	1,3963	0,635	0,761
Isolat Rb11	1,3723	0,528	0,844
Isolat Rb12	1,2267	1,004	0,222

Bioremediasi Logam Zn Limbah Cair Batik menggunakan Rhizobakteria Isolat Rb6, Rb7 dan Rb12

Pengukuran kapasitas serapan logam Zn oleh rhizobakteria isolat Rb6, Rb7, dan Rb12 dilakukan menggunakan persamaan 2. Hasil pengukuran kapasitas serapan logam Zn paling tinggi terjadi pada isolat Rb7 pH 5,5 dengan penurunan sebesar 43,20% (Gambar 1). Kapasitas serapan logam Zn limbah cair industri tekstil optimum pada pH 5,5 menggunakan *Bacillus* sp. dengan penurunan sebesar 33%.²⁵ Komponen bakteri yang berperan penting dalam penyerapan dan imobilisasi logam adalah eksopolisakarida (EPS). Komponen eksopolisakarida terdiri atas polisakarida yang memiliki gugus fungsi seperti gugus fosfat, karboksil, amina, dan hidroksil yang membantu penyerapan logam berat.¹⁷ Hasil pengukuran kapasitas serapan logam dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan *Split Plot Design* dengan tingkat kepercayaan 95%.



Gambar 1. Kapasitas Serapan Logam Zn Limbah Cair Batik menggunakan Rhizobakteria Isolat Rb6, Rb7 dan Rb12

Hasil analisis ragam (ANOVA) (Tabel 2) menunjukkan bahwa perlakuan pH memiliki nilai F. Hitung > dari F. Tabel pada tingkat kepercayaan 95%, sedangkan perlakuan isolat maupun interaksi antara perlakuan isolat dan perlakuan pH memiliki nilai F. Hitung < dari F. Tabel. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan pH berpengaruh nyata dalam penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik, sedangkan perlakuan isolat maupun interaksi antara perlakuan isolat dan perlakuan pH tidak memberikan pengaruh yang nyata dalam penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik. Nilai pH limbah berpengaruh pada kondisi optimum mikroorganisme dalam proses biodegradasi.¹⁰ Perlakuan pH yang berbeda nyata dianalisis lebih lanjut dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan tingkat kepercayaan 95% (Tabel 3).

Tabel 2. Analisis Ragam Penurunan Konsentrasi Logam Zn Limbah Cair Batik yang Diberi Perlakuan Variasi Jenis Isolat dan Variasi pH

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F. Hitung	F. Tabel (5%)
Isolat	2	0,526	0,196	2,945	5,14
Galat Isolat	6	0,475	0,079		
pH	2	0,619	0,309	4,644*	3,37
Isolat*pH	4	0,836	0,123	1,856	2,74
Galat pH	12	0,357	0,030		
Total	27	2,812			

Berdasarkan hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) (Tabel 3) menunjukkan bahwa pH 5,5 berpengaruh nyata dan memiliki nilai tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik optimum pada pH 5,5. Hasil tersebut berkorelasi dengan perhitungan kapasitas serapan logam Zn yang paling tinggi, yaitu pada perlakuan isolat Rb7 pH 5,5 dengan penurunan logam Zn sebesar 1,086 ppm atau setara dengan 43,20%. Derajat keasaman (pH) merupakan faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi ion logam dalam larutan, karena keberadaan ion H⁺ dalam larutan akan berkompetisi dengan kation untuk berikatan dengan situs aktif. Penyerapan logam Zn pada pH 3-5 umumnya rendah disebabkan karena banyaknya ion H⁺ dalam larutan sehingga terjadi kompetisi dengan logam Zn²⁺ untuk berikatan dengan permukaan bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pH 6 penurunan konsentrasi logam Zn limbah cair batik adalah yang paling rendah.⁴ Penurunan serapan logam pada pH 6 terjadi karena adanya persaingan antara ion OH⁻ pada larutan dengan gugus fungsi bakteri untuk berikatan dengan ion logam Zn²⁺. Konsentrasi ion hidrogen berkurang dan jumlah ion hidroksida bertambah pada pH 6 sehingga terjadi pengendapan dan merubah Zn²⁺ menjadi Zn(OH)₂.¹⁸

Tabel 3. Hasil Uji DMRT Penurunan Konsentrasi Logam Zn oleh Rhizobakteria pada pH Berbeda

Perlakuan	Rata-rata Penurunan Konsentrasi Logam Zn Limbah Cair Batik pada pH Berbeda
pH 6	0,5052 a
pH 5	0,6887 ab
pH 5,5	0,8761 c

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Hasil perhitungan jumlah koloni bakteri menggunakan metode TPC setelah proses bioremediasi sebagian besar hasil mengalami penurunan jumlah koloni (Tabel 4). Penurunan jumlah populasi bakteri terjadi karena adanya kompetisi antar mikroba dalam mendapatkan nutrisi.¹⁴ Ion logam diperlukan pada reaksi enzimatik bakteri. Bakteri menggunakan ion logam dalam pembentukan kofaktor logam maupun ikatan koenzim-logam yang stabil sehingga dapat meningkatkan aktivitas enzimatik.²³ Penurunan konsentrasi logam pada limbah dikarenakan ion logam digunakan oleh bakteri. Pernyataan tersebut berkorelasi dengan pengukuran kapasitas serapan logam Zn limbah cair batik paling tinggi terjadi pada perlakuan isolat Rb7 pH 5,5 dengan penurunan sebesar 1,086 ppm atau 43,20%. Hasil penelitian pada perhitungan jumlah koloni bakteri isolat Rb7 sebelum dan sesudah bioremediasi adalah 1,32 x 10⁷ CFU/mL dan 2,16 x 10⁶ CFU/mL (Tabel 4) yang mengalami penurunan jumlah populasi bakteri. Biomasa sel akan mencapai jumlah maksimum pada fase stasioner. Jumlah nutrisi dalam limbah berkurang akibat kompetisi antar bakteri untuk mendapatkan nutrisi sehingga menyebabkan kematian sel.¹⁶

Mekanisme penurunan logam oleh bakteri dapat berlangsung secara pasif maupun aktif. Pengambilan secara aktif (bioakumulasi) yaitu bakteri mengakumulasi untuk kepentingan metabolisme bakteri selama pertumbuhan namun jumlahnya terbatas. Pengambilan secara pasif (biosorpsi) terjadi melalui pengikatan ion logam pada komponen dinding sel bakteri. Komponen dinding sel berupa gugus fungsional seperti gugus karboksil, gugus fosfat, lipopolisakarida, asam teikoat, dan asam teikuronat. Ion logam yang bermuatan positif akan berikatan dengan sisi permukaan sel yang bermuatan negatif. Dinding sel bakteri gram positif tersusun atas peptidoglikan, asam teikoat, dan asam teikuronat yang bermuatan negatif. Komponen tersebut dapat berikatan dengan ion logam berat yang bermuatan positif. Bakteri gram positif mampu memproduksi eksopolisakarida (EPS) pada permukaan dinding sel sebagai mediasi biosorpsi logam berat. Gugus fungsional

EPS yang bermuatan negatif diantaranya amino (-NH), fosforil (PO₄³⁻), hidroksil (OH⁻), karboksil (COO⁻), atau sulfhidril (-SH).¹

Tabel 4. Populasi Koloni Bakteri Sebelum dan Sesudah Bioremediasi

Blanko/Isolat	pH	Sebelum perlakuan (CFU's/mL)	Sesudah Perlakuan (CFU's/mL)
Isolat Rb6	5	8,6 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁶
	5.5	4,05 x 10 ⁷	1,06 x 10 ⁷
	6	1,95 x 10 ⁷	4,02 x 10 ⁷
Isolat Rb7	5	3,2 x 10 ⁶	1,86 x 10 ⁶
	5.5	1,32 x 10 ⁷	2,16 x 10 ⁶
	6	4,75 x 10 ⁷	1,03 x 10 ⁶
Isolat Rb12	5	5,61 x 10 ⁶	9,5 x 10 ⁶
	5.5	3,48 x 10 ⁶	8,18 x 10 ⁷
	6	2,99 x 10 ⁷	5,18 x 10 ⁶

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian adalah:

1. Isolat rhizobakteria yang memiliki toleransi tinggi terhadap logam Zn limbah cair batik adalah isolat Rb6, Rb7, dan Rb12 dikarenakan memiliki nilai turbiditas tinggi pada media yang tidak ditambahkan maupun yang ditambahkan logam Zn.
2. Isolat rhizobakteria yang paling tinggi dalam menurunkan konsentrasi logam Zn limbah cair batik adalah isolat Rb7 pada pH 5,5 dengan kapasitas serapan logam sebesar 1,086 ppm atau setara dengan 43,20%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abidin, A. Z., Renjana, E., & Fatimah, F. Uji Toleransi Logam Berat Bakteri Hidrokarbonoklastik dan Uji Kemampuan *Micrococcus* sp. LII61 dalam Menurunkan Kromium (Cr VI), Tembaga (Cu II), Seng (Zn II). *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, **12** (1), 60-67 (2019).
2. Afni, N., & Ahda, Y., 2020. Bioaugmentation Effect of *Alcaligenes* sp. 2 and Isolates *Bacillus* sp. 2 on Lowering Used Lubricating Oil-Contaminated Soil pH. *Serambi Biologi*, **5**(1), pp. 1-6.
3. Andriani, N., & Rachmadiarti, F. Keanekaragaman Rhizobakteri pada *Pistia stratiotes* dan *Azolla microphylla* yang Terpapar Logam Timbal (Pb). *LenteraBio*. **8** (1), 73-79 (2019).
4. Darmayanti, D., Rahman, N., & Supriadi, S. Adsorpsi Timbal (Pb) dan Zink (Zn) dari Larutannya menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Variasi pH. *Jurnal Akademika Kimia*. **1** (4), 159-165 (2012).
5. De Fretes, C. E., Sutiknowati, L. I., & Falahudin, D. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Toleran Logam Berat dari Sedimen Mangrove di Pengudang dan Tanjung Uban, Pulau Bintan, Indonesia. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. **4** (2), 71-77 (2019).
6. Hafeez, F. Y., Abaid-Ullah, M., & Hassan, M. N. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as Zinc Mobilizers: a Promising Approach For Cereals Biofortification. *In Bacteria In Agrobiology: Crop Productivity*. **1** (1), 217-235 (2013).
7. Handrianto, P. Mikroorganisme Pendegradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) sebagai Agen Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal SainHealth*, **2** (2), 35-42 (2018).
8. Hardiani, H., Kardiansyah, T., & Sugesty, S. Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses Deinking. *Jurnal Selulosa*, **1** (01), 31-41 (2016).
9. Kurniawan, A., & Ekowati, N. Potensi Mikoremediasi Logam Berat. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBi)*, **3** (1), 36-45 (2016).
10. Larasati, T. R. D., & Mulyana, N. Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran Bulking Agents yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. **9** (2), 139-150 (2016).
11. Lestari, S., Dewi, R. S., & Wibowo, E. S. Biosorption Chrome (Cr) and Dyes using Biosorbent in The Modified Tea Bag. *Journal of Microbial Systematics and Biotechnology*. **1** (1), 38-43 (2019).
12. Lestari, S., Sudarmadji, S., Tandjung, S. D., & Santosa, S. J. Biosorpsi Krom Total dalam Limbah Cair Batik dengan Biosorben yang dikemas dalam Kantong Teh Celup. *BIOSFERA*. **33** (2), 71-75 (2016).
13. Lubis, S. S., 2019. Bioremediasi Logam Berat Oleh Fungi Laut. *AMINA (Ar-Raniry Chemistry Journal)*. **1** (2), 91-102 (2019).

14. Maulana, A., Supartono, S., & Mursiti, S. Bioremediasi Logam Pb pada Limbah Tekstil dengan *Staphylococcus aureus* dan *Bacillus subtilis*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. **6 (3)**, 256-261 (2017).
 15. Mubarak, M. Z., Pratama, B. E., & Chaerun, S. K. Bioleaching Nikel dari Bijih Limonit Pulau Gag menggunakan Bakteri Mixotrof. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, **12 (1)**, 69-79 (2016).
 16. Novianty, R., Awaluddin, A., & Pratiwi, N. W. Bakteri Indigen Pendegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi di Kabupaten Siak Provinsi Riau. *Jurnal Teknik Kimia USU*. **9(1)**, 34-40 (2020).
 17. Pani, T., Das, A., & Osborne, J. W. Bioremoval of Zinc and Manganese by Bacterial Biofilm: A Bioreactor-based Approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **17 (5)**, 211-218 (2017).
 18. Putri, M. E. Analisis Parameter Optimum Penyerapan Kation Zn (II) Oleh Biomassa *Hydrilla Verticillata*. *Widyariset*. **17 (3)**, 374-379 (2014).
 19. Pratiwi, E., Febriyanti, C., Helmi, H., & Fembriyanto, R. Penapisan Bakteri Pengikat Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) dari Kolong pasca Penambangan Timah. *Akuatik: Jurnal Sumberdaya Perairan*. **6(1)**, 27-33 (2013).
 20. Setiawan, D., & Sukarna, I. M. Ekstraksi Ion Logam Zn (II) menggunakan Senyawa Pembawa Tanin Termodifikasi dengan Metode Membran Cair Ruah. *Jurnal Kimia Dasar*. **6 (3)**, 75-82 (2017).
 21. Supriyantini, E., Sedjati, S., & Nurfadhli, Z. Akumulasi Logam Berat Zn (Seng) pada Lamun *Enhalus acoroides* dan *Thalassia hemprichii* di Perairan Pantai Kartini Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*. **5 (1)**, 14-20 (2016).
 22. Susanti, R. A., Mustikaningtyas, D., & Sasi, F. A. Analisis Kadar Logam Berat pada Sungai di Jawa Tengah. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*. **12 (1)**, 35-40 (2014).
 23. Susanto, J. P. Pengaruh Logam dan Konsentrasi Substrat Terhadap Pertumbuhan dan Aktivitas Bakteri Proteolitik pada Proses Deproteinasi Cangkang Rajungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, **4 (1)**, 40-45 (2003).
 24. Susilowati, E., Mahatmanti, F. W., & Haryani, S. Sintesis KITOSAN-Silika Bead Sebagai Pengadsorpsi Ion Logam Pb (II) pada Limbah Cair Batik. *Indonesian Journal of Chemical Science*. **7 (2)**, 123-131 (2018).
 25. Wierzba, S. Biosorption of Lead (II), Zinc (II) and Nickel (II) from Industrial Wastewater by *Stenotrophomonas Maltophilia* and *Bacillus Subtilis*. *Polish Journal of Chemical Technology*, **17(1)**, 79-87 (2015).
 26. Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., & Pravitasari, V. A. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik pada Skala Laboratorium dengan menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*. **5 (1)**, 6-11 (2009).
-

PENGGUNAAN EKSTRAK PEWARNA ALAMI DARI TANAMAN MANGROVE DALAM INDUSTRI TEKSTIL UNTUK KEBERLANJUTAN LINGKUNGAN DI DESA MANGUNHARJO, SEMARANG

UTILIZATION OF NATURAL DYES EXTRACT FROM MANGROVE PLANT IN THE TEXTILE INDUSTRY FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN MANGUNHARJO VILLAGE, SEMARANG

A. Hadian Pratama Hamzah¹, Sutrisno Anggoro², Sri Puryono¹

¹ Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Diponegoro, Jl. Imam Bardjo SH No.5, Pleburan, Kec. Semarang Sel., Kota Semarang, Jawa Tengah 50241, Telp. (024) 8318856

² Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Telp. (024) 7474698
E-mail: hadi.dian@yahoo.com

ABSTRAK

Selain fungsi ekologis, mangrove juga memiliki manfaat secara ekonomi. Salah satu manfaat dari kayu dan daun pada beberapa jenis tanaman mangrove dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami pada kegiatan membatik. Lokasi penelitian dilakukan di Desa Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Semarang. Adapun tujuan penelitian ini sebagai pemberdayaan masyarakat melalui potensi tanaman mangrove sebagai pewarna alami yang bersifat inovasi pewarna alami. Metode yang dilakukan adalah uji lab dan ekstraksi dari jenis daun dan kayu mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pewarnaan dari daun dan batang pada 6 jenis tanaman mangrove yaitu: *Sorensasia alba*, *Rizophora sp*, *Avecenia sp*, *Ceripos decandra*, *Lumicera sp* memperlihatkan warna yang hampir sama, yakni dari warna coklat muda hingga coklat tua gelap manfaat dari hasil penelitian ini dapat digunakan beragam jenis pewarna alami lainnya bagi pengrajin batik pesisir yang berbasis lingkungan dengan memanfaatkan potensi lingkungan sekitar melalui penggunaan beberapa jenis bakau (*Rhizophora*), sehingga ramah lingkungan, mendorong keberlanjutan ekonomi dan sosial.

Kata kunci: pewarna alami, mangrove, keberlanjutan lingkungan, kain batik

ABSTRACT

*Apart from ecological functions, mangroves also have economic benefits. One of the benefits of wood and leaves in several types of mangrove plants can be used as natural dyes in batik activities. The location of the research was conducted in Mangunharjo Village, Tugu District, Semarang. The results showed that the coloring of the leaves and stems on 6 types of mangrove plants, namely: *Sorensasia alba*, *Rizophora sp*, *Avecenia sp*, *Ceripos decandra*, *Lumicera sp* showed almost the same color, from light brown to dark dark brown. With the existence of various other types of dyes, environmental-based coastal batik craftsmen can take advantage of the potential of the surrounding environment through the use of materials around their homes, which are environmentally friendly and based on economic, social and environmental sustainability.*

Keywords: natural dyes, mangroves, environmental sustainability, batik fabrics

PENDAHULUAN

Wilayah Mangunharjo Tugu Semarang, merupakan salah satu daerah pesisir di Kota Semarang yang sebagian besar penduduknya adalah nelayan sebanyak 248 orang. Sisanya adalah buruh pabrik, karyawan, dan pengusaha olahan ikan dan udang. Kawasan Mangunharjo memiliki luas wilayah sekitar 35 Ha dihuni oleh 1.699 jiwa atau 496 KK. Tingkat pendidikan masyarakat mangunharjo adalah SMP dan SMA. Keterbatasan tingkat pendidikan juga berpengaruh terhadap pola kehidupan dan jenis mata pencaharian warga pada sektor informal tertentu.

Kawasan mangunharjo merupakan salah satu wilayah di Kecamatan Tugu dengan kawasan pesisir. Menurut data Bappeda Kota Semarang abrasi di Kawasan pesisir Semarang telah menggerus lahan tambak sejauh 690 m. Kerugian akibat abrasi ini telah menghancurkan permukiman dan lahan tambak milik warga. Kondisi tersebut diperparah dengan adanya kejadian rob dan pasang laut yang merendam permukiman. Sehingga menimbulkan kerugian warga secara materiil dan immateriil. Berdasarkan kondisi tersebut mendorong masyarakat melalui fasilitasi program Desa Binaan Kesemat Undip untuk melakukan penanaman

mangrove di kawasan pesisir dan pengolahan hasil limbah tanaman mangrove berupa kayu dan daun. Sejak tahun 2001, telah dilakukan kegiatan penanaman mangrove sebanyak 90.000 bibit tanaman mangrove. Keberadaan sumber daya alam berupa ekosistem mangrove, pembibitan mangrove, dan sumber daya manusia masyarakat Mangunharjo merupakan potensi besar dalam pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan.

Dari beragam fungsi mangrove, tumbuhan khas pada hutan mangrove juga memiliki nilai ekonomis dari ekstrak daun dan kayu yang dapat digunakan sebagai pewarna batik dalam menkreasikan paduan warna pada kain yang diproduksi. Mangunharjo di Kecamatan Tugu Semarang sudah memproduksi bahan batik, bahkan batiknya berasal dari bahan warna alam, yaitu dari tanaman indigo atau *Indigofera tinctoria*. Warna alam yang dominan dari tanaman indigo adalah warna biru. Namun, produksi batik indigo ini belum maksimal. Dalam sehari, warga baru mampu memproduksi 10 potong batik tulis, dan 30 potong batik cap yang dicampur tulis.¹ Penelitian ini dilakukan dalam upaya menemukan pewarna alam lainnya dari beberapa jenis *Rhizophora* (bakau) yang dapat digunakan sebagai pewarna batik alternatif sehingga warna yang sering digunakan tidak monoton, disamping itu masyarakat diajak untuk melakukan uji coba campuran warna agar dapat mandiri dalam menghasilkan produksi pewarna batik demi meningkatkan karya batik pesisir. Dari seluruh produksi kain batik itu, baru 10% diolah menjadi baju dan souvenir, sisanya dijual dalam bentuk kain batik. Permasalahan yang muncul dari produksi bahan batik alam di kecamatan Mangunharjo adalah karena dominasi warna biru dan hijau dari bahan alam indigo sehingga kurang menarik pasar atau konsumen. Warna bahan alam indigo didominasi dengan warna biru dan hijau sedang warna mangrove didominasi dengan warna merah, oranye, coklat. Hasil penelitian ini mendapatkan warna alam yang menarik dan bervariasi dari tanaman mangrove dalam meningkatkan kreatifitas sebagai upaya perluasan pasar batik dari, Kecamatan Mangunharjo, Semarang.

METODE

Bahan

Sampling daun dan batang mangrove dikoleksi dari pantai Semarang dan sekitarnya. Masing-masing daun dan batang mangrove yang dikoleksi, langsung dimasukkan dalam kantong plastik yang berukuran 5 kg. Kemudian tanaman mangrove diidentifikasi dengan menggunakan acuan pemilahan jenis tanaman, Sampel batang dan daun dikeringkan di udara terbuka dengan sinar matahari secara tidak langsung selama 4 hari. Selanjutnya sampel diekstraksi.

Pembuatan Zat Warna Alam Mangrove dengan cara Ekstraksi, Sampel daun dan batang tanaman mangrove dipotong menjadi ukuran sampai 2 cm, kemudian potongan seberat 500 gr dimasukkan dalam panci, Sebagai indikasi bahwa pigmen warna yang ada dalam tumbuhan telah keluar ditunjukkan dengan air setelah perebusan menjadi berwarna.² Jika larutan tetap bening berarti tanaman tersebut hampir dipastikan tidak mengandung pigmen warna. Saring dengan kasa penyaring larutan hasil proses ekstraksi tersebut untuk memisahkan dengan sisa bahan yang diekstrak (ampas). Larutan ekstrak hasil penyaringan ini disebut larutan zat warna alam. Setelah dingin larutan siap untuk digunakan.

Fiksasi merupakan proses utk memperkuat warna agar tidak luntur. Fiksasi dapat dilakukan dgn beberapa bahan seperti tawas, kapur (CaCO_3) dan tunjung (FeSO_4). Masing-masing bahan mempunyai karakteristik yg berbeda terhadap warna. Namun dengan gabungan dari beberapa fiksasi kadang akan mendapatkan warna yang lebih tajam. Untuk mendapatkan masing-masing zat fiksasi yaitu dengan melarutkan dalam air dan dibiarkan sampai larutan mengendap, kemudian yang digunakan adalah cairan yang bening dalam proses fiksasi.³

Proses Pencelupan Warna pada 10 ml larutan zat warna hasil ekstraksi dari daun dan batang tanaman mangrove dimasukkan dalam tempat pencelupan. Masukkan bahan tekstil yang telah dimordanting kedalam larutan zat warna alam dan diproses pencelupan selama 15 – 30 menit. Selanjutnya, masukkan bahan kedalam larutan fixer bisa yaitu tawas, kapur dan tunjung. Bahan diproses dalam larutan fixer selama 10 menit. Untuk mengetahui perbedaan warna yang dihasilkan oleh masing – masing larutan fixer maka proses 3 lembar kain pada larutan zat warna alam setelah itu ambil 1 lembar difixer pada larutan tunjung, 1 lembar pada larutan tawas dan satunya lagi pada larutan kapur. Selanjutnya, bilas dan cuci bahan lalu keringkan.

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah sampling daun, batang, wadah cairan, tabung pengukur dan nampak sebagai wadah jemur, selanjutnya kain percobaan dan gelas reaksi untuk pewarnaan. Bahan telah selesai diwarnai dengan larutan zat warna alam diamati warna yang dihasilkan dan perbedaan warna pada bahan tekstil setelah difixer dengan masing-masing larutan fixer. Selanjutnya dilakukan pengujian-pengujian kualitas yang diperlukan seperti: ketahanan luntur warna dan lainnya. Kemudian akan mendapatkan kesimpulan potensi tanaman yang diproses (diekstrak) sebagai sumber zat pewarna alam untuk mewarnai bahan tekstil.

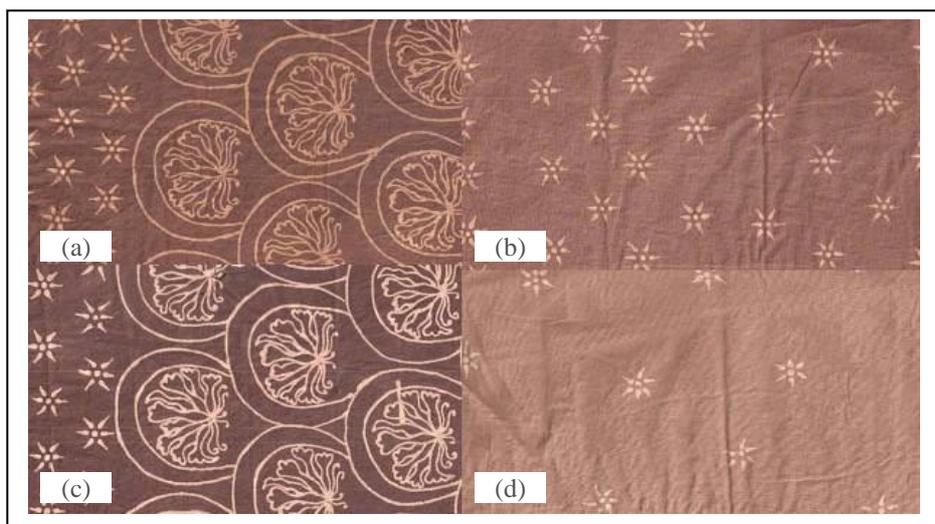
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian diperoleh 6 jenis tanaman mangrove yang dapat digunakan sebagai bahan warna alam batik, yaitu: *Sorensasia alba*, *Rizophora sp*, *Avecenia sp*, *Ceripos decandra*, *Lumicera sp* yang masing-masing dengan menggunakan bagian daun dan batangnya kecuali tanaman mangrove jenis *Ceripos decandra* hanya menggunakan bagian daunnya saja tanpa batang sedang jenis mangrove *Lucimera sp* hanya menggunakan larutan fixer tunjung pada daun dan batang serta dilakukan juga gabungan antara fixer dan tunjung pada daun jenis *Lucimera sp*.⁴ menyatakan bahwa proses pengolahan tumbuhan yang dipakai sebagai pewarna yaitu ekstrak yang direbus, setelah itu baru dicelupkan benang atau bahan kain. Berdasarkan hal tersebut, maka hasil celupan warna pada masing-masing jenis mangrove dan fixer tertera pada Tabel.1. berikut.

Tabel 1. Hasil Pewarnaan Ekstrak Mangrove dengan Berbagai Bahan Fiksasi

Bagian tanaman	<i>Sorensasia alba</i>			<i>Rizophora sp</i>			<i>Avecenia sp</i>			<i>Ceripos decandra</i>			<i>Agriceros sp</i>			<i>Lumicera sp</i>		
	TA WAS	KA PUR	TUN JUNG	TA WAS	KA PUR	TUN JUNG	TA WAS	KA PUR	TUN JUNG	TA WAS	KA PUR	TUN JUNG	TA WAS	KA PUR	TUN JUNG	TA WAS	KA PUR	TUN JUNG
Daun																		
Batang																		

Berdasarkan hasil penelitian dari tanaman mangrove jenis *Sorensasia alba*, *Rizophora sp*, *Avecenia sp*, *Ceripos decandra*, *Lumicera sp* pada bagian daun dan batang memperlihatkan warna yang hampir dominan, yaitu dari warna coklat muda sampai coklat tua. Namun setelah di uji lanjut dengan ketahanan luntur warna maka ditemukan bahwa batang dan daun jenis *Agriceros sp* (a), dan batang serta daun jenis *Lumicera sp* dengan fixer tunjung memiliki warna yang kuat, tidak luntur dan warna yang tidak gelap seperti yang tertera pada Gambar. 1, hasil pewarnaan mangrove.



Gambar 1. Hasil pewarnaan alam mangrove memperlihatkan variasi warna terang, yang berbeda, kuat dan tidak luntur pada batang jenis *Agriceros sp* (a), batang *Lumicera sp* (b), daun *Agriceros sp* (c) dan daun *Lumicera sp*.

Zat pewarna berfungsi untuk pewarnaan pada proses model (nyoga). Ditinjau dari sumber diperolehnya zat warna tekstil dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu: zat warna alam dan zat warna sintetis. Zat pewarna alam diperoleh dari alam yaitu berasal dari hewan (*lac dyes*) ataupun tumbuhan dapat berasal dari akar, batang, daun, kulit dan bunga. Zat pewarna sintetis adalah zat buatan (zat warna kimia). Bahan pewarna yang digunakan pada Batik Mangrove adalah bahan pewarna alami dan kimia. Bahan pewarna alami didapat dari pengolahan tumbuhan mangrove dan beberapa bahan alami lainnya.⁵

Baru-baru ini, penggunaan pewarna alami di industri tekstil telah mendapatkan perhatian lebih karena signifikan terhadap kepedulian lingkungan pada penggunaan pewarna sintetis tertentu yang beracun. Bila dilakukan penelitian lanjut tentang perbedaan waktu pencelupan kain dan perbedaan zat fiksasi yang digunakan maka diduga akan mendapatkan hasil yang berbeda pula dalam hal ketahanan luntur warna pada kain batik. Seperti yang dikatakan⁶ bahwa pigmen warna untuk kain sutra dengan pewarna alami dari kulit kayu tanaman mangrove yang berwarna merah memperlihatkan hasil yang menarik. Efek dari konsentrasi pewarna dan waktu mengukus selama langkah fiksasi pada kekuatan warna sangat mempengaruhi ketahanan luntur warna terhadap pencucian dan cahaya serta kekakuan kain.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hasil pewarnaan dari daun dan batang pada 6 jenis tanaman mangrove yaitu: *Sorensia alba*, *Rizophora sp*, *Avecenia sp*, *Ceripos decandra*, *Lumicera sp* memperlihatkan warna yang hampir sama, yakni dari warna coklat muda hingga coklat tua gelap. Hasil pewarnaan alam mangrove memperlihatkan variasi warna terang, yang berbeda, tidak luntur pada batang dan daun jenis *Agriceros sp* serta batang dan daun jenis *Lumicera sp*. Warna alam dari daun mangrove jenis *Agriceros sp* dengan fiksasi gabungan kapur dan tunjung tampak warna lebih kuat, dan tidak gelap serta tidak luntur. Pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dari segi ekonomi juga dapat diperoleh dari hasil sumberdaya lingkungan, sehingga pola pergerakan ekonomi dan lingkungan berjalan beriringan, sebaiknya prinsip konservasi perlu dilakukan agar aspek ketahanan ekonomi masyarakat desa dan kelestarian lingkungan dapat terus berjalan..

DAFTAR PUSTAKA

1. Rao K. M, Raghavendra A., Reddy KJ. *Physiology and Molecular Biology Of Stress Tolerance in Plants*.; 2006.
2. Dewi LF, Pringgenies D, Ridlo A. Pemanfaatan mangrove *Rhizophora mucronata* sebagai pewarna alami kain katun. *J Mar Res*. 2018;7(2):79-88.
3. Purnaningtyas DN. Desain Eksperimen Pewarna Alam Batik Propagul Mangrove. *J Kebijakan Perikanan Indonesia*. 2016;2(1):1-9.
4. Sari R. Penggunaan Mangrove Untuk Meningkatkan Pendapatan Ekonomi Rumah Tangga. *J Pengabdian Kpd Masy*. 2016;22(Vol 22, No 4 (2016): Edisi Khusus SNEHPKM2016):10-15. <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/jpkm/article/view/5753>.
5. Hidayat A, Pringgenies D, Wijayanto D. Pemanfaatan Limbah Daun dan Kulit Mangrove (*Rhizophora mucronata*) Sebagai Bahan Pewarna Alami Pada Kain Batik Pesisir Semarang. *J Perikan dan Kelaut* 1(2) 2016. 2016:0-7.
6. Radjasa I. Aplikasi Pewarnaan Bahan Alam Mangrove untuk Bahan Batik sebagai Diversifikasi Usaha Di Desa Binaan Kabupaten Semarang. 2013:1-10.

ISOLASI BAKTERI LIGNOSELULOLITIK DARI BATANG RAMI TERDEGRADASI DAN SKRINING KEMAMPUAN ENZIMATIS DALAM DEGRADASI GUM

ISOLATION OF LIGNOCELLULOLYTIC BACTERIA FROM DEGRADED RAMIE RODS AND SCREENING OF ENZYMATIC ACTIVITY IN GUM DEGRADATION

Kasimir Beni Moerdani,¹ Oedjjono,¹ Srie Gustiani²

¹Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno 63 Grendeng-Purwokerto 53122
Telp. (0281) 638794, 082134619506, Fax (0281) 638794
E-mail: biologi@unsoed.ac.id

²Balai Besar Tekstil, Jl. Jenderal Achmad Yani No. 390 Bandung, 40272 Telp. (022) 7206214, 7206215
E-mail: bbt@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Salah satu pengembangan metode *degumming* yang ramah lingkungan adalah metode *biodegumming*. *Biodegumming* dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme yang memiliki aktivitas enzim yang mendegradasi gum. Dalam studi ini dilakukan isolasi bakteri dari batang rami terdegradasi dan skrining kemampuan enzimatisnya dalam degradasi gum. Metode penelitian terdiri dari proses sampling batang rami terdegradasi dari ladang rami CV Ramindo Wonosobo, isolasi selektif pada medium CMC (*carboxymethyl cellulose*) dengan teknik maserasi dan *pour plate*, serta skrining kemampuan enzimatis dalam degradasi lignin, dan selulosa dengan metode semi-kuantitatif, yaitu menghitung diameter zona jernih pada media. Setelah proses isolasi didapatkan 11 jenis isolat bakteri dengan aktivitas enzimatis yang berbeda dan ada beberapa bakteri yang memiliki beberapa aktivitas enzim yang mampu mendegradasi beberapa jenis gum dan memiliki zona jernih yang lebar. Zona jernih yang lebar menginterpretasikan adanya aktivitas enzim yang lebih tinggi untuk mendegradasi gum. Zona jernih dan diameter koloni dimasukkan dalam rumus menjadi Indeks Aktivitas Enzim (IAE). Hasil skrining menunjukkan bahwa ada isolat yang mampu mendegradasi selulosa dan lignin secara bersamaan. Hal ini terlihat pada IAE lignolitik tertinggi isolat C41 (0,47) dan B51(0,65). IAE selulolitik tertinggi B41 (0,68) dan C41(0,41). Untuk aplikasi dalam proses *degumming* yang baik isolat C41 direkomendasikan karena memiliki kemampuan dalam lignolitik dan selulolitik yang tinggi.

Kata kunci : lignoselulolitik, enzimatis, degradasi gum, rami, isolasi bakteri

ABSTRACT

One of degumming methods development that environmentally safe is biodegumming method. Biodegumming is carried out by utilizing microorganism with gum degrading enzymatic activity. In this study, we isolated bacteria from degraded ramie and screening the gum degrading enzymes activity. Research method consists of sampling degraded rods from ramie fields of CV Ramindo, Wonosobo, selective isolation in CMC (carboxymethyl cellulose) media with maseration and pour plate technique, and skrining enzymatic activity in degrading lignin and cellulose with semi-quantitative method, calculates the diameter of clear zone at the media. After isolation obtained 11 types isolates with different enzym activity and there are that able to degrade some types of gum with wide clear zone at the media. Wide clear zone interpreted there is higher enzym activity for gum degrading. Clear zone and colony diameter entered into formulas to measure the Enzym Activity Index (EAI). Screening result show if there is isolate that able to degrade cellulose and lignin at the same time. This is evident by the highest EAI by isolate C41 (0,47) and B51 (0,65). Highest Cellulolytic EAI by isolate B41(0,68) and C41(0,41). For application and better degumming process, isolate C41 is recommended because of the high ability in cellulolytic and ligninolytic.

Key words: lignocellulolytic, enzymatic, gum degradation, ramie, bacterial isolation

PENDAHULUAN

Degradasi gum atau yang biasa dikenal dengan proses *degumming* adalah proses peluruhan sisa-sisa gum yang menempel pada serat yang dapat dilakukan dengan metode kimia, fisika dan biologi. Gum merupakan elemen pengikat sejenis karbohidrat rantai panjang antar untai pada serat. Bahan perekat ini yang harus dihilangkan dari serat untuk membentuk helaian utuh sehingga dapat dipintal menjadi benang.

Metode biologi dalam proses *degumming* dilakukan dengan bantuan bakteri yang memiliki aktivitas enzim yang mampu mendegradasi gum.¹

Bakteri lignoselulolitik adalah bakteri yang memiliki aktivitas enzim lignolase dan selulase untuk memecah substrat berupa lignin dan selulosa. Enzim yang berperan dalam pemecahan substrat lignin adalah lignin peroksidase (LiP), Lakase dan mangan peroksidase (Mnp), sementara enzim untuk pemecahan selulase adalah enzim selulase.^{8,13} Bakteri lignoselulolitik sesuai dengan substratnya dapat diperoleh dari sumber yang mengandung lignin dan selulosa.⁵ Pengaplikasian bakteri lignoselulolitik umumnya dipakai dalam industri seperti industri kertas dan etanol, serta dalam bioremediasi pewarna tekstil.^{10,11,14}

Dinding sel tumbuhan terdiri dari 3 komponen penting seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Lignin juga membentuk ikatan sampingan dengan gum perekat lain. Sementara dalam helaian selulosa pada dinding sel tumbuhan terdapat rekatan. Proses peluruhan lignin penting dalam proses *degumming* untuk mendapat serat selulosa yang lebih halus dan utuh helaianya.¹

Penelitian sebelumnya dalam proses *biodegumming* rami dengan menggunakan bakteri *Bacillus pumilus* strain DKS1 dengan aktivitas pectat lyase tinggi mendegradasi gum hingga 24% penurunan massa serat.¹⁹ *Degumming* juga dilakukan dengan bakteri alkalofilik dengan tujuan degradasi polisakarida menghasilkan sekitar 5% penurunan massa serat.²⁰ Studi ini diharapkan dapat mengisolasi bakteri dengan aktivitas degradasi gum yang tinggi khususnya lignin dan selulosa dan memperoleh bakteri yang memang substrat hidupnya sesuai dengan tempat pengaplikasian, yaitu *degumming* serat rami. Di samping itu *degumming* dengan menggunakan bakteri ini lebih menguntungkan dikarenakan mampu minimalisir pencemaran dan ramah lingkungan tidak seperti yang umumnya dilakukan dengan bahan kimia yang perlu pengolahan khusus untuk limbah sisa *degumming* tersebut.

Studi ini bertujuan mengisolasi bakteri lignoselulolitik dari batang rami terdegradasi dan skringing kemampuan enzimatisnya dalam degradasi gum meliputi lignin dan selulosa.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain media CMC (*Carboxymethylcellulose*), media Luria Bertani (LB)-*Methylene blue*, *congo red* 0,1%, reagen *lugol's iodine*, savranin, kristal violet, NaCl 1M, glukosa, alkohol, etanol 95%, spirtus, akuades, akuabides, *aluminium foil*, *wrapper*, plastik, kertas, dan karet.

Alat

Alat timbangan analitik, autoklaf, *microwave*, *hotplate stirrer*, pH meter, *laminar air flow*, *rotary shaking incubator*, spektrofotometer, oven, lemari pendingin, pembakar bunsen, gelas beaker, gelas ukur, labu erlenmeyer, cawan petri, tabung reaksi, botol kaca, jarum ose, dan mikropipet.

Isolasi Bakteri

Isolasi bakteri diawali dengan *random sampling* batang terdegradasi di ladang rami CV Ramindo, Wonosobo. Batang rami dibawa diambil secara steril dan dibawa dalam plastik *ziplock* dan disimpan dalam kulkas. 10 gram batang diekstrak dengan metode maserasi menggunakan mortar steril dan 10 mL akuades steril. Ekstrak sampel dipindahkan kedalam tabung reaksi dan dibuat pengenceran bertingkat hingga 10^{-5} dan ditanam 2 pengenceran terakhir secara duplo dengan metode *pour plate* pada medium CMC Agar. Hasil plating diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam. Setelah inkubasi 48 jam dilakukan pemurnian isolat yang berbeda. Pemurnian dilakukan dengan *streak-kuadran* pada media NA (*Nutrient Agar*) kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu ruang.²

Uji Skringing Lignolitik

Uji skringing lignolitik dilakukan pada medium *Luria Bertani-Methylene blue*. Penanaman bakteri dilakukan dengan metode inokulasi titik pada medium LB-Methylen Blue dengan 3 pengulangan. Interpretasi positif ditandai dengan adanya zona jernih di sekitar koloni yang tumbuh.³ Indeks aktivitas enzim dinyatakan dalam selisih diameter zona jernih yang terbentuk dengan diameter koloni, sebagaimana Persamaan 1 berikut.

$$IAE \text{ (Indeks Aktivitas Enzim)} = \frac{A \text{ (mm)} - B \text{ (mm)}}{B \text{ (mm)}} \quad (1)$$

Keterangan : A (Diameter Zona Jernih)
B (Diameter Koloni)

Uji Skrining Selulolitik

Uji skrining lignolitik dilakukan pada medium CMC Agar. Penanaman bakteri dilakukan dengan metode inokulasi titik pada medium CMC Agar dengan 3 pengulangan. Setelah inkubasi 48 jam, koloni digenangi dengan *congo red* 1%. Interpretasi positif ditandai dengan adanya zona jernih di sekitar koloni yang tumbuh.⁴ Indeks aktivitas enzim dinyatakan dalam selisih diameter zona jernih yang terbentuk dengan diameter koloni sebagaimana persamaan 2 berikut.

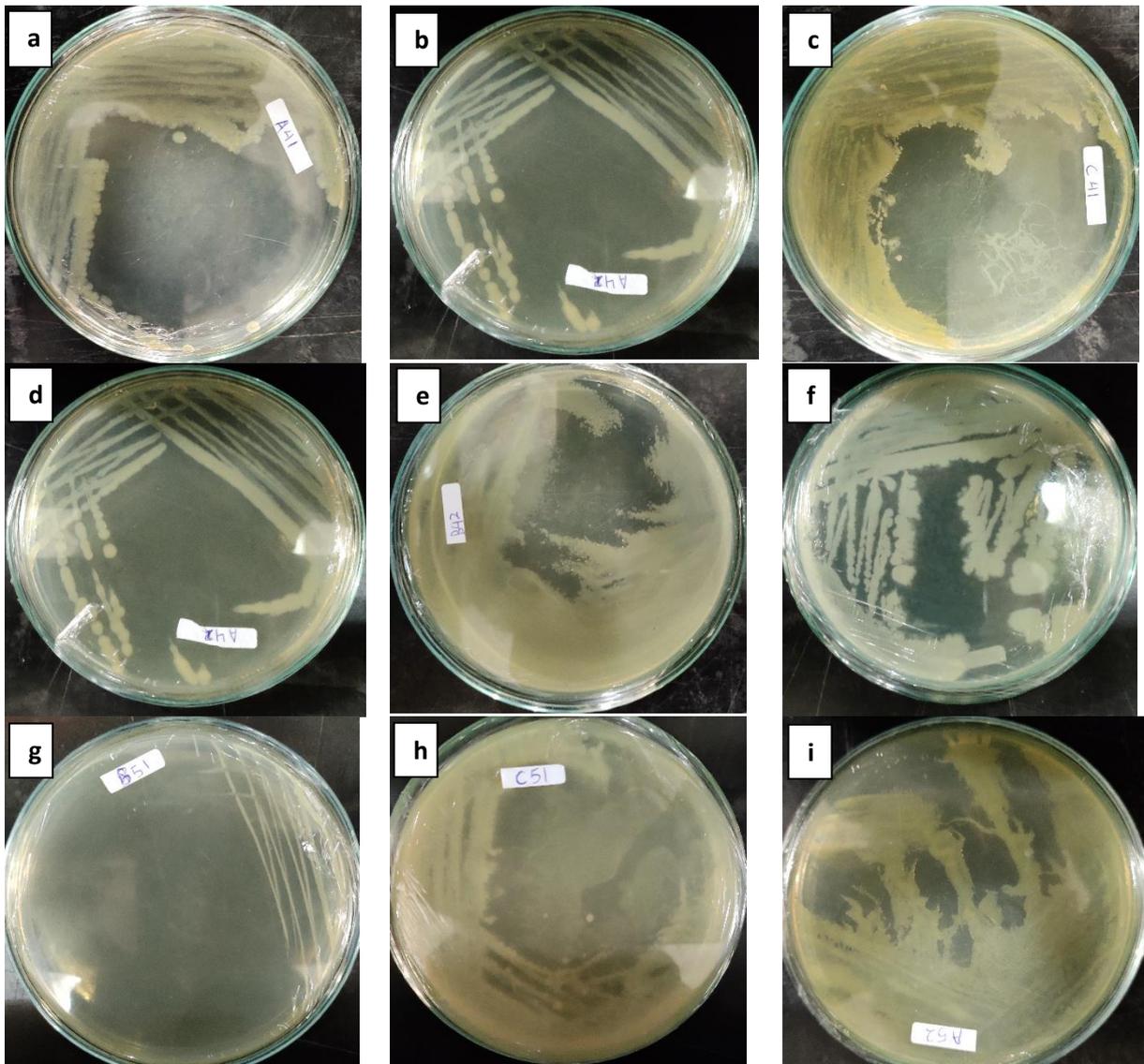
$$IAE \text{ (Indeks Aktivitas Enzim)} = \frac{A \text{ (mm)} - B \text{ (mm)}}{B \text{ (mm)}} \quad (2)$$

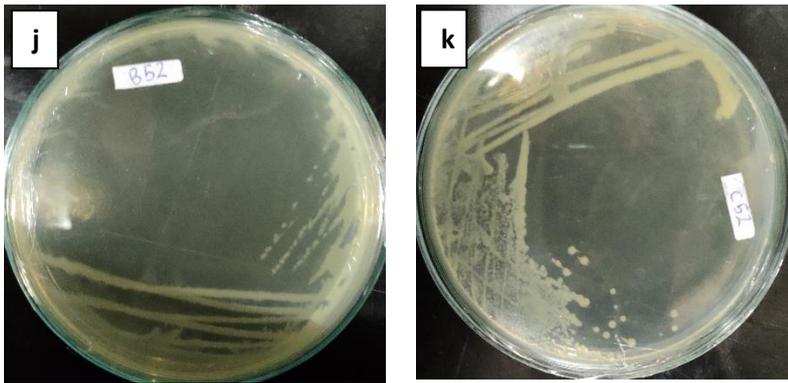
Keterangan : A (Diameter Zona Jernih)
B (Diameter Koloni)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Bakteri

Dari proses isolasi yang dilakukan dengan metode *pour plate* pada medium CMC Agar 1% menghasilkan 11 isolat dengan karakter morfologi koloni yang berbeda. Pemurnian isolat bertujuan untuk memisahkan isolat dari campuran menjadi biakan murni. Pemurnian dilakukan pada medium NB dengan metode *streak quadrant* morfologi koloni, seperti pada Gambar 1.





Gambar 1. (a) Isolat A41, (b) Isolat B41, (c) Isolat C41, (d) Isolat A42, (e) Isolat B42, (f) Isolat A51, (g) Isolat B51, (h) Isolat C51, (i) Isolat A52, (j) Isolat B52, (k) Isolat C52

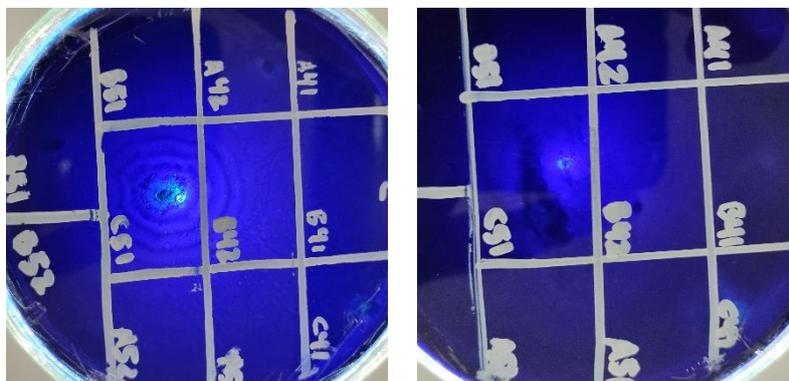
Tabel 1. Hasil pengamatan morfologi koloni dan sel isolat

Isolat	Warna	Tepi	Ukuran	Elevasi	Bentuk	Bau	Permukaan	Gram
A41	Kuning	<i>Irregular</i>	Kecil	Cembung	Bulat	Urea	Mengkilap	<i>Coccus</i> +
B41	Putih	Rata	Kecil	Cembung	Bulat	Terbakar	Kusam	<i>Coccus</i> +
C41	Putih	Gelombang	Besar	Cembung	<i>Irregular</i>	Telur Busuk	Kusam	Basil -
A42	Putih	Rata	Kecil	Rata	Bulat	Fermentasi	Kusam	<i>Coccus</i> +
B42	Putih	Rata	Kecil	Cembung	Bulat	Fermentasi	Mengkilap	Basil -
A51	Kuning	Rata	Besar	Cembung	Bulat	Fermentasi	Mengkilap	<i>Coccus</i> -
B51	Putih	Gelombang	Besar	Cembung	Bulat	Urea	Kusam	Basil -
C51	Krim	Rata	Kecil	Cembung	Bulat	Urea	Mengkilap	Basil -
A52	Kuning	Gelombang	Kecil	Cembung	Bulat	Fermentasi	Mengkilap	Basil -
B52	Putih	<i>Irregular</i>	Besar	Rata	<i>Irregular</i>	Fermentasi	Kusam	<i>Coccus</i> -
C52	Putih	Rata	Kecil	Cembung	Rata	Fermentasi	Mengkilap	Basil -

Isolasi selektif untuk memperoleh bakteri lignoselulolitik adalah dengan menggunakan medium CMC Agar dikarenakan substrat spesifik, yaitu *cellulose* 1% sehingga diharapkan bakteri yang tumbuh hanya yang mampu memperoleh sumber karbon untuk energinya dari selulosa.⁵ Isolat yang diperoleh memiliki karakter koloni yang hampir sama, yaitu dengan warna koloni putih dan kuning. Karakteristik morfologi koloni yang mendominasi diantara semua isolat adalah elevasi cembung dan kesamaan bau pada isolat. Sementara untuk hasil pewarnaan gram untuk membedakan morfologi sel terlihat bahwa cukup bervariasi dari bentuk sel batang dan *coccus* dengan gram positif dan negatif.

Skrining Lignolitik

Skrining lignolitik dilakukan pada medium LB-*Methylene blue* 1%. Skrining dilakukan dengan inokulasi titik pada medium LB-*Methylene blue* dan dilakukan inkubasi 48 jam. Setelah koloni tumbuh diamati diameter zona jernih yang terbentuk.



Gambar 2. (a) Zona Jernih Isolat C51, (b) Zona Jernih Isolat C51

Tabel 2. Aktivitas Enzim Lignolase Secara Kualitatif

No	Isolat	Pembentukan Zona Bening	Diameter Zona (mm)	Diameter Koloni (mm)	Indeks Aktivitas Enzim
1	A41	-	0	0	0
2	B41	-	0	0	0
3	C41	++	14,5	7,67	0,47
4	A42	-	0	3,33	0
5	B42	-	0	0,67	0
6	A51	-	0	0	0
7	B51	-	0	0	0
8	C51	++	32,17	11	0,65
9	A52	-	0	1,33	0
10	B52	-	0	1,33	0
11	C52	-	0	2,5	0

Ket : (-) Tidak Terbentuk zona jernih
(+) Terbentuk Zona Jernih Kecil (<0.5 mm)
(++) Terbentuk Zona Jernih Besar (>0.5 mm)

Zona jernih disekitar koloni menginterpretasikan adanya aktivitas enzim lignin peroksidase (Li-P) yang memecah lignin ikatan *methylene blue* pada media LB. Penelitian sebelumnya juga menggunakan cara skrining yang sama dengan inokulasi pada medium LB *Methylene blue*, tetapi hanya untuk mengetahui ada tidaknya aktivitas dari lignin peroksidase pada bakteri yang diujikan.³ Sebuah penelitian melaporkan bahwa pengujian dengan *methylene blue* juga dapat digunakan untuk uji kuantitatif kemampuan lignolitik dengan melihat derajat dimetilasi lignin peroksidase terhadap *methylene blue*.

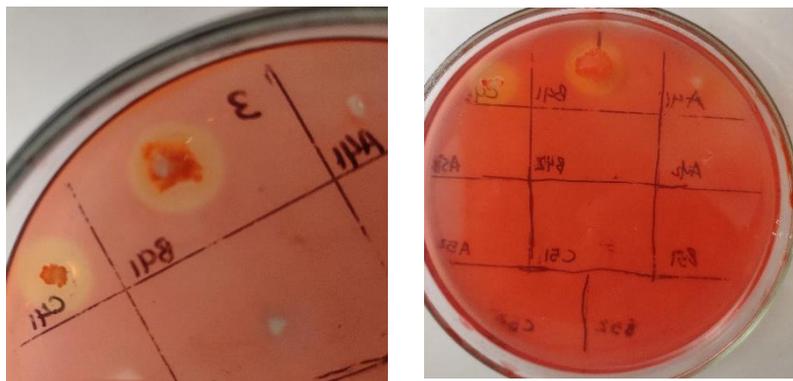
Hasil skrining lignolitik dengan medium LB-*Methylene blue* banyak isolat hasil inokulasi titik yang tidak dapat tumbuh pada medium LB dengan *Methylene blue* 1%. Penghambatan pertumbuhan ini dapat disebabkan oleh karena sifat *methylene blue* yang menghambat pertumbuhan bakteri gram positif.⁶ Terkait dengan hal tersebut ditemukan rekomendasi dari penelitian sebelumnya adalah mengganti *methylene blue* dengan pewarna lain seperti biru toluidin dan biru azure Hanya terdapat 2 isolat yang menghasilkan zona jernih yang besar, yaitu isolat kode C41 dan B51. Diameter zona jernih pada isolat C41 dan B51 memiliki ukuran yang jauh lebih besar daripada diameter koloninya dan ini menghasilkan indeks aktivitas enzim yang cukup tinggi, yaitu 0,47 oleh isolat C41 dan 0,65 oleh isolat B51.

Bakteri lignolitik adalah bakteri yang mampu memproduksi enzim lignolase untuk memecah ikatan kimia pada enzim. Enzim yang terlibat dalam degradasi ini antara lain enzim lakase, *glutathion S-transferase*, dioksigenase, monooksigenase, dan fenol oksidase. Ikatan yang mendominasi dalam lignin adalah β -aril eter, yaitu 50-70%. Untuk memecah ikatan ini enzim yang paling berperan adalah *glutathione-S-transferase*.⁷

Mekanisme pemecahan ikatan lignin adalah melalui (hidroksilasi) yang diawali oksidasi elektron dan kemunculan kation akan memecah struktur rantai karbon. Enzim peroksidase lignin berdasarkan spektrum substratnya dibagi menjadi Lignin Peroksidase (LiP), *Laccase*, dan Mangan peroksidase (MnP). Degradasi yang dilakukan enzim tersebut masing-masing adalah LiP dalam oksidasi senyawa aromatik nonfenolik dan fenolik, *Laccase* dalam *fenol oksidase multicopper* yaitu oksidasi fenol dan amina aromatik dan MnP dalam reduksi Mn(II) sebagai substratnya.⁸

Skrining Selulolitik

Skrining selulolitik dilakukan pada medium CMC Agar dan dilakukan penggenangan dengan *congo red* maka akan terlihat zona jernih. Selanjutnya penggenangan koloni bakteri dengan NaCl dilakukan untuk memperjelas zona jernih di sekitar koloni yang menginterpretasikan adanya produksi selulase dari bakteri yang memecah selulosa pada media.¹⁵



Gambar 3. (a) Zona jernih uji selulolitik Isolat B41, (b) Zona jernih pada media CMC

Tabel 3. Aktivitas Enzim Selulase Secara Kualitatif

No	Isolat	Pembentukan Zona Bening	Diameter Zona (mm)	Diameter Koloni (mm)	Indeks Aktivitas Enzim
1	A41	++	4,5	3,16	0,29
2	B41	++	10	5,83	0,41
3	C41	++	7,83	2,5	0,68
4	A42	++	2,33	1,83	0,21
5	B42	-	0	2,83	0
6	A51	-	0	0,33	0
7	B51	-	0	0,67	0
8	C51	++	4,3	3,33	0,23
9	A52	-	0	2,83	0
10	B52	-	0	2,16	0
11	C52	-	0	2,16	0

Ket : (-) Tidak Terbentuk zona jernih
 (+) Terbentuk Zona Jernih Kecil (<0.5 mm)
 (++) Terbentuk Zona Jernih Besar (>0.5 mm)

Berbeda dengan hasil uji lignolitik, uji selulolitik menunjukkan bahwa semua bakteri dapat tumbuh pada medium CMC 1% dan beberapa menghasilkan zona Jernih. Hasil skrining selulase dengan cara inokulasi titik pada medium CMC 1% menunjukkan terdapat 5 isolat bakteri yang memiliki aktivitas selulase yang cukup tinggi. Indeks aktivitas enzim tertinggi oleh isolat C41 dengan nilai 0,68 dan terendah oleh isolat A42 dengan nilai 0,21.

Bakteri selulolitik adalah bakteri yang mampu menghasilkan selulase yang memecah selulosa menjadi senyawa atau unit glukosa yang lebih kecil. Zona Jernih yang ada menginterpretasikan bahwa koloni bakteri memproduksi enzim selulase yang mampu memecah ikatan β -1,4-glukosidik dalam selulosa, membelah satu jenis ikatan dalam pola ikatan antar molekul yang luas dan menghasilkan substrat kristal. Hidrolisis oleh selulase disertai inversi dan retensi konfigurasi karbon anomerik dan katalisis utama diinisiasi oleh dua gugus karboksil yang terletak di lokasi aktif enzim.⁹

Isolasi bakteri lignoselulolitik berdasarkan sumbernya terdapat pada banyak sumber, khususnya yang memang mengandung lignin dan selulosa untuk digunakan sebagai substrat yang memenuhi kebutuhan karbon bakteri tersebut. Tumpukan kompos juga bisa menjadi sumber bakteri yang dapat mendegradasi lignoselulosa.¹⁴ Penelitian sebelumnya terkait isolasi bakteri lignoselulolitik memperoleh bakteri lignoselulolitik limbah pabrik kertas *pulp*.¹² Bakteri lignoselulolitik dapat juga diperoleh dari daerah perakaran tumbuhan, dan dapat dibandingkan keanekaragamannya dalam beberapa faktor lingkungan seperti ketinggian, kelembaban, temperatur dan tekanan. Penelitian untuk memperoleh bakteri lignoselulolitik dengan karakteristik termofilik juga dilakukan pada daerah vulkanik.¹⁰

Bakteri lignoselulolitik dikarenakan kemampuannya dalam memecah substrat berupa lignin dan selulosa digunakan pula dalam beberapa aplikasi produksi khususnya dalam industri, bioremediasi, dan biodegradasi. Bakteri ini mampu memanfaatkan limbah lignoselulosa *pulp*.¹⁴ Dunia industri memanfaatkan bakteri lignoselulolitik untuk mendegradasi beragam jenis substrat untuk menghasilkan produk yang dibutuhkan. Penelitian sebelumnya memanfaatkan bakteri lignoselulolitik yang bersifat termofilik untuk memproduksi etanol, dalam kasus ini termofilik untuk mengurangi ketergantungan pendingin reaktor.¹⁰ Pemanfaatan bakteri lignoselulolitik juga berperan dalam dekomposisi. Pemanfaatan enzim lignin

peroksidase dari bakteri juga digunakan dalam proses *biobleaching*.¹¹ Pemanfaatan bakteri juga dilakukan penelitian sebelumnya dalam degradasi tandan kosong kelapa sawit yang merupakan limbah dari produksi minyak kelapa sawit. Adapula yang memanfaatkan bakteri lignoselulolitik dalam proses *degumming* serat rami untuk menghasilkan serat selulosa yang baik. Proses *degumming* secara biologi dapat dilakukan dengan bantuan bakteri lignoselulolitik.¹² Dengan kemampuan enzimatis yang ada pada bakteri lignoselulolitik mampu menghilangkan gum pada serat selulosa sehingga dapat dihasilkan serat yang memiliki kandungan gum optimal. Hal ini menjadi penting dikarenakan meskipun jumlah lignin pada kulit batang rami rendah tetapi ini sangat berpengaruh dalam pemisahan helaian serat utuh. Lignin berfungsi sebagai agen pengikat dalam matriks selulosa-hemiselulosa dan memberikan ketahanan termal pada tumbuhan. Hal ini juga dibutuhkan dikarenakan biomassa tumbuhan terdiri dari selulosa yang dikelilingi oleh hemiselulosa dan lignin.¹⁶ Fungsi enzim lignoselulolitik yang juga berfungsi untuk *biobleaching* kertas *pulp* dan limbah tekstil diharapkan mampu memutihkan serat selulosa.¹⁷ Kandungan selulosa dalam *toprami* juga diharapkan terdiri dari 75% selulosa, 16% hemiselulosa, 0,7% lignin, 6% zat-zat larut dalam air, serta 0,35% lilin dan lemak.¹⁸

KESIMPULAN

Aktivitas enzim lignolase dan selulase secara bersamaan dapat mendegradasi gum dengan lebih baik. Isolat bakteri dengan Indeks Aktivitas Enzim tertinggi bermanfaat dalam degradasi lignoselulosa. IAE Lignolitik tertinggi isolat C41 (0,47) dan B51(0,65). IAE selulolitik tertinggi B41 (0,68) dan C41(0,41). Untuk aplikasi dalam proses *degumming* yang baik isolat C41 direkomendasikan karena memiliki kemampuan dalam lignolitik dan selulolitik yang cukup tinggi. Bakteri diharapkan dapat mempercepat proses *degumming*, khususnya *degumming* serat yang harus mendegradasi lebih banyak bagian lignin dan menghasilkan serat selulosa dengan kandungan gum yang optimal. Di samping itu, *degumming* dengan bakteri tidak menyisakan limbah yang menyebabkan pencemaran seperti pada metode kimia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada BBT Bandung dan CV Ramindo Wonosobo yang telah melancarkan proses studi ini dalam memperoleh bahan sebagai sumber isolat bakteri.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agustina, S, Lydia C.H, Andryanti. T & Warsiti. W., Pengolahan Rami Secara Biologi. (2005). *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 1(1), pp.31-39.
2. Marwan. H, Sinaga. M.S, Giyanto & Nawangsih A.A., Isolasi Dan Seleksi Bakteri Endofit Untuk Pengendalian Penyakit Darah Pada Tanaman Pisang. (2011). *Jurnal HPT Tropika*. 11(2), pp. 113-121.
3. Prakoso. H.T, Widiastuti. H, Suharyanto & Siswanto., Eksplorasi Dan Karakterisasi Bakteri Aerob Lignolitik Serta Aplikasinya Untuk Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit. (2014). *Menara Perkebunan*. 82(1), pp. 15-24.
4. Murtiyangsih, H. & Hazmi, M., Isolasi Dan Uji Aktivitas Enzim Selulase Pada Bakteri Selulolitik Asal Tanah Sampah. (2017). *Journal of Agriculture Science*. 15(2), pp. 293-308.
5. Rahayu. A.G, Haryani. Y, Puspita. F., Uji Aktivitas Selulolitik Dari Tiga Isolat Bakteri Bacillus sp. Galur Lokal Riau. (2014). *JOM FMIPA*. 1(2), pp. 319-327.
6. Jasmadi, Haryani. Y & Jose. C., Prevalensi Bakteri Coliform dan Escherichia Coli pada Daging Sapi yang Dijual di Pasar Tradisional dan Pasar Modern di Kota Pekanbaru. (2014). *JOM FMIPA*. 1(2), pp. 31-39.
7. Masai E, Katayama Y, Nishikawa S, Yamasaki M, Morohoshi N, Haraguchi T., Detection and localization of a new enzyme catalyzing the β -aryl ether cleavage in the soil bacteria *Pseudomonas paucimobilis* SYK-6. (1989). *FEBS Lett* 249:348-352
8. Mester. T & Tien. M., Oxidative Mechanism Of Ligninolytic Enzymes Involved In The Degradation Of Environmental Pollutants. (2000). *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 46, pp. 51-59.
9. Bayer. E.A, Chanzy. H, Lamed. R & Shoham. Y., Cellulose, Cellulases and Cellulosomes. (1998). *Current Opinion in Structural Biology*. 8(1), pp. 548-557.
10. Hemati. A, Aliasgharzad. N, Khakvar. R, Khosmanzar. E, Lajayer. B.A & Hullebusch. E., Role of lignin and thermophilic lignocellulolytic bacteria in the evolution of humification indices and enzymatic activities during compost production. (2020). *Waste Management*. 119, pp. 122-134.
11. Bholay AD, BV Borkhataria, PU Jadhav, KS Palekar, MV Dhalkari & PM Nalawade., Bacterial lignin peroxidase: A tool for biobleaching and biodegradation of industrial effluents. (2012). *Univ J Environment Res Technol* 2(1), 58-64.
12. Bhattacharyya. S.K, & Paul. N.B., The Microbial *Degumming* of Raw Ramie Fibre. (2008) *The Journal of The Textile Institute*. 12(1), pp. 512-517.
13. Acharya, P. B., Acharya, & Modi, H. A., Optimization for Cellulase Production by *Aspergillus niger* Using Saw Dust as Substrate. (2008) *African Journal of Biotechnology*. 22(4), pp. 147-4152.

14. Matthews. S, Pawlak. J & Grunden. A.M., Bacterial biodegradation and bioconversion of industrial lignocellulosic streams. (2015). *Appl Microbiol Biotechnol.* 99(7), pp. 29-54.
 15. Sadhu. S. & Maiti. T.K., Cellulase Production by Bacteria: A Review. (2013). *British Microbiology Research Journal.* 3(3), pp. 235-258.
 16. Fu. J, Li. X, Gao. W, Wang. H, Paulo. A.C & Silva. C., Bio-processing of bamboo fibres for textile applications: a mini review. (2012). *Biocatalysis and Biotransformation.* 30(1), pp. 141-153.
 17. Yang. Q, Duan. S, Cheng. L, Feng. X, Feng. X, Zheng. K, Liu, Z, Gao. M & Peng. Y., An Effective *Degumming* Technology for Ramie Fibers Based on Microbial Coculture Strategy. (2020). *JOURNAL OF NATURAL FIBERS.* pp. 1-11
 18. Novarini. E, & Sukardan. M.D., Potensi Serat Rami (*Boehmeria nivea* S. Gaud) Sebagai Bahan Baku Industri Tekstil Dan Produk Tekstil Dan Tekstil Teknik. (2015) *Arena Tekstil.* 80(2), pp. 113-122.
 19. Basu. S, Saha M.N, Chattopadhyay. D & Chakrabarti.K., Large-scale *degumming* of ramie Wbre using a newly isolated *Bacillus pumilus* DKS1 with high pectate lyase activity. (2009). *J Ind Microbiol Biotechnol.* 36, pp. 239-245.
 20. Zheng. L, Du. Y & Zhang J., *Degumming* of ramie Fibers by alkalophilic bacteria and their polysaccharide-degrading enzymes. (2001). *Bioresource Technology.* 78, pp. 89-94.
-

PEMANFAATAN ARANG AKTIF CANGKANG BUAH BIDURI (*Calotropis gigantea*) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM TIMBAL (Pb)

UTILIZATION OF ACTIVATED CHARCOAL OF BIDURI (*Calotropis gigantea*) SEED PODS AS A LEAD (Pb) METAL ADSORBENT

Anne Sukmawati

Balai Besar Tekstil, Jl. Jend. A Yani no. 390 Bandung 40272, Telp. 022-7276215
E-mail: anne.sukmawati@gmail.com

ABSTRAK

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang sering ditemukan dalam limbah industri tekstil. Logam tersebut diperlukan pada proses pewarnaan. Apabila limbah logam berat dibuang ke perairan akan berdampak buruk bagi makhluk hidup dan lingkungan, sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan limbah dengan metode adsorpsi logam Pb menggunakan arang aktif dari cangkang buah tanaman biduri (*Calotropis gigantea*). Selama ini cangkang buah biduri dianggap sampah dan terbuang sehingga tidak dimanfaatkan. Metode penelitian meliputi preparasi cangkang biduri menjadi arang pada suhu 300°C selama 1 jam, kemudian dilakukan aktivasi menggunakan larutan NaOH 10% selama 24 jam. Arang aktif cangkang biduri dibilas dan dikeringkan pada suhu 105 °C. Timbang arang aktif sebanyak 0,1 gram kemudian dimasukkan ke dalam 100 ml larutan Pb yang telah diketahui kadarnya. Variasi waktu kontak adalah 1, 2 dan 3 jam, kemudian arang aktif disaring dan filtrat diuji kadar logam menggunakan AAS Shimadzu AA-7000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan arang aktif cangkang biduri mencapai 4-5%. Hal ini menunjukkan arang aktif cangkang biduri berpotensi digunakan lebih lanjut sebagai adsorben limbah logam berat timbal (Pb).

Kata kunci: arang aktif, biduri, adsorpsi, timbal

ABSTRACT

*Lead (Pb) is a heavy metal that is often found in textile industry waste. The metal is required in the coloring process. If heavy metal waste is disposed of into the water, it will have a bad impact on living things and the environment, so it needs to be processed first. In this research, waste treatment was carried out using the Pb metal adsorption method using activated charcoal from the fruit shells of the biduri plant (*Calotropis gigantea*). So far, the shell of the biduri is considered garbage and is wasted so that it is not used. The research method included the preparation of biduri shells into charcoal at 300°C for 1 hour, then activation using 10% NaOH solution for 24 hours. The activated biduri shell charcoal was rinsed and dried at 105°C. Weigh 0.1 gram of activated charcoal and then put it in 100 ml of Pb solution which has a known concentration. The variation of contact time was 1, 2, and 3 hours, then the activated charcoal was filtered and the filtrate was assayed for metal content using AAS Shimadzu AA-7000. The results showed that the absorption efficiency of biduri shell activated charcoal reached 4-5%. This shows that activated biduri shell charcoal has the potential to be used further as an adsorbent for heavy metal waste of lead (Pb).*

Keywords: activated charcoal, biduri, adsorption, lead

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan logam yang mempunyai berat jenis (*specific gravity*) 5,0 g/cm³. Berdasarkan sudut pandang toksikologi logam berat dapat dibedakan menjadi logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial merupakan logam dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup namun dalam jumlah berlebih akan menimbulkan efek racun, sebagai contoh antara lain Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan Se. Logam berat non esensial yang merupakan racun (*toxic metal*) yang keberadaannya di dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, sebagai contoh antara lain Hg, Cd, Pb, Sn, Cr dan As.

Pada industri tekstil, logam berat digunakan dalam proses pewarnaan sebagai katalis pada zat warna dan sebagai bagian dari molekul zat warna. Proses pewarnaan di industri tekstil menghasilkan limbah diantaranya: arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), timbal (Pb), tembaga (Cu) dan seng (Zn). Timbal atau timah hitam memiliki nama ilmiah Plumbum (Pb) memiliki nomor atom 82, berat atom 207,2 g/mol merupakan logam lunak yang memiliki berat jenis 11,34 g/cm³. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh setiap hari melalui makanan, air, dan udara. Efek dari keracunan timbal dapat menyebabkan kerusakan pada otak dan penyakit penyakit yang berhubungan dengan otak, sehingga timbal digolongkan ke dalam bahan pencemar berbahaya.

Berbagai metode telah dikembangkan sebagai upaya mengurangi kadar logam berat diantaranya melalui metode adsorpsi dengan arang aktif.¹ Teknologi adsorpsi arang aktif dianggap paling menjanjikan untuk menghilangkan ion logam berat dari limbah. Hal ini disebabkan biaya rendah, efisiensi tinggi dan mudah dioperasikan.²

Arang aktif merupakan arang yang memiliki struktur pori akibat proses aktivasi. Dalam mengaktivasi arang ada dua metode yang sering digunakan yaitu aktivasi secara fisika dan kimia. Aktivasi fisika menggunakan bantuan panas, uap dan CO₂ untuk memutus rantai karbon sedangkan aktivasi kimia yaitu menggunakan bahan kimia sebagai pemutus rantai karbon dari senyawa organik. Tahapan proses aktivasi dimulai dengan pengarangan. Arang yang dihasilkan dari proses pemanasan dipecah pecah menjadi bentuk granular untuk memperbesar bidang kontak antara bahan baku dengan bahan pengaktif. Arang atau bahan baku dimasukkan ke dalam gelas yang didalamnya berisi larutan bahan kimia seperti ZnCl₂, CaCl₂, MgCl₂, NaOH dan H₃PO₄ dalam konsentrasi tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ZnCl₂, NaOH dan H₃PO₄ merupakan bahan kimia yang cukup baik untuk digunakan.³ Lama perendaman sekitar 12-24 jam dan kemudian ditiriskan dengan meletakkan di tempat terbuka sampai air permukaan hilang.

Pemanfaatan arang aktif sebagai adsorpsi logam telah dilakukan diantaranya menggunakan bahan dasar kulit kapuk untuk adsorpsi logam tembaga dan krom,⁴ tempurung kelapa untuk adsorpsi logam Cu,² buah bintaro untuk adsorpsi krom,⁵ cangkang kemiri,⁶ gergaji kayu,⁷ jerami untuk adsorpsi mangan,⁸ sekam padi,⁹ tanaman gumi tir¹⁰ dan lain lain. Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Salah satunya terdapat tanaman biduri yang tumbuh secara liar. Tanaman biduri (*Calotropis gigantea*) sering dimanfaatkan sebagai tanaman obat dan serat dari buahnya telah diteliti sebagai serat tekstil. Namun cangkang buah tanaman biduri sering dibuang dan belum dimanfaatkan. Dalam penelitian ini cangkang buah biduri akan dibuat menjadi arang aktif yang menyerap logam berat yaitu timbal (Pb) sehingga diharapkan cangkang buah biduri memiliki nilai tambah yang tinggi.

METODE

Bahan

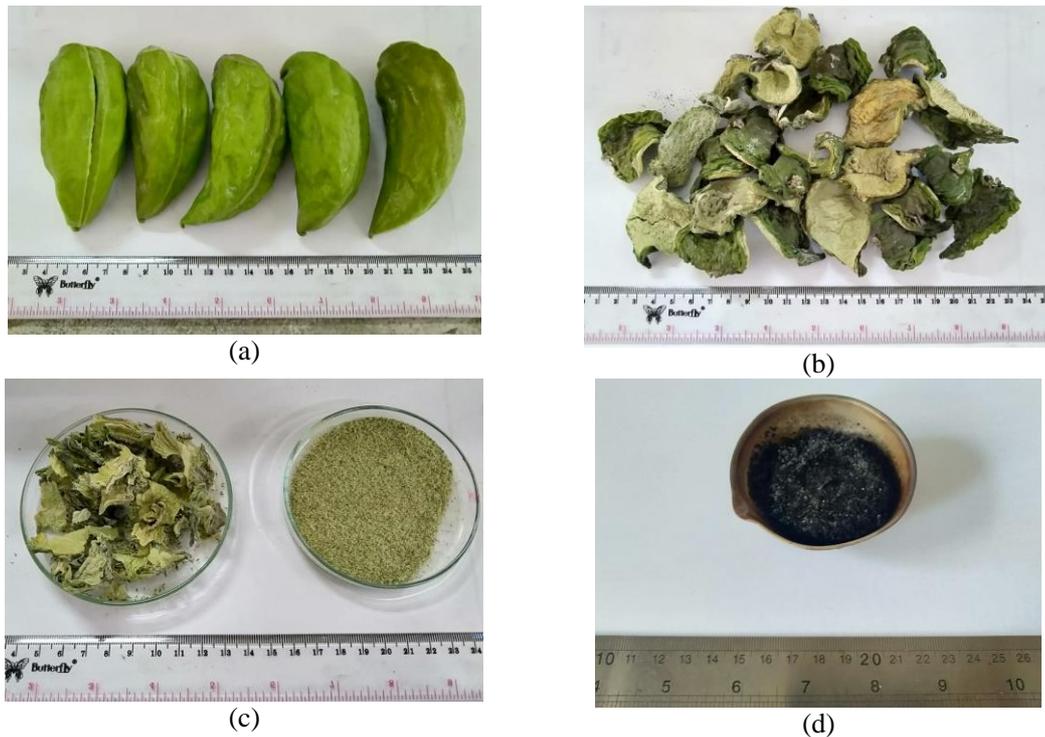
Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkang buah biduri diambil dari tanaman biduri di lingkungan kantor Balai Besar Tekstil Bandung. Bahan kimia yang digunakan antara lain akuades, NaOH dan Pb(NO₃)₂ (p.a).

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah neraca analitik merek PRECISA XB200A dengan ketelitian 0,0001 gram, tanur *Furnace Thermolyne* 1400, oven Heraeus UT 6060, blender Miyako, cawan porselin, lesung dan alu, saringan *stainless steel* 60 mesh (0,3 mm), *multi hotplate stirrer* merek WiseStir, desikator, kertas saring Whatman no 42 90 mm, peralatan gelas, dan alat uji logam AAS Shimadzu AA-7000.

Prosedur Kerja

Sebelum dilakukan pengarangan, cangkang buah biduri dicuci bersih dan dikeringkan di ruang terbuka tanpa terkena sinar matahari langsung dan dihaluskan menjadi serbuk menggunakan blender. Cangkang buah biduri yang telah bersih dan berbentuk serbuk diarangkan pada tanur selama 1 jam. Bentuk perubahan cangkang buah biduri yang masih basah hingga menjadi arang terlihat pada gambar 1. Arang cangkang buah biduri didinginkan di desikator, dihaluskan menggunakan lesung dan alu dan disaring menggunakan saringan *stainless steel* 60 mesh dengan tujuan menghasilkan arang dengan ukuran yang spesifik. Ukuran arang spesifik diharapkan semua bagian dari arang memiliki efek yang sama pada saat aktivasi. Selanjutnya diaktivasi dengan larutan NaOH selama 24 jam dengan tujuan semakin banyak jumlah pori yang terbentuk. Campuran disaring dan dicuci bersih menggunakan akuades dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C untuk menghasilkan arang aktif yang siap digunakan.



Gambar 1. Bentuk cangkang buah biduri (a) basah, (b) kering, (c) serbuk, (d) arang

Tahap analisis mutu arang aktif meliputi rendemen arang, kadar air, kadar abu dan daya adsorpsi logam Pb. Rendemen arang dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat cangkang}} \times 100\% \quad (1)$$

Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis arang aktif.¹⁰ Kadar air arang aktif dalam serbuk yang baik sesuai SNI memiliki kadar air maksimal sebesar 15%. Kadar air arang aktif ditentukan dengan cara pengeringan di dalam oven. Sebanyak satu gram arang aktif ditimbang dan ditempatkan dalam cawan yang telah diketahui bobotnya, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga mencapai bobot konstan, selanjutnya arang aktif didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang. Kadar air arang aktif dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Penyusutan bobot arang aktif}}{\text{Berat arang aktif}} \times 100\% \quad (2)$$

Penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui kadar logam oksida dalam arang aktif.¹⁰ Kadar abu arang aktif dalam serbuk yang baik sesuai SNI memiliki kadar abu maksimal sebesar 10%.

Proses penyerapan timbal dengan arang aktif cangkang buah biduri dilakukan dengan cara larutan Pb nitrat 100 ml dengan konsentrasi Pb 10 mg/L dikontakan dengan arang aktif sebanyak 0,3 gram pada gelas beaker, kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet. Setelah proses penyerapan selesai, arang aktif cangkang buah biduri dipisahkan menggunakan kertas saring dan selanjutnya dianalisis kadar Pb. Parameter yang dipelajari pada percobaan ini adalah waktu kontak 1, 2 dan 3 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, berat rata rata cangkang buah biduri basah adalah 13,95 gram dan berat rata rata cangkang buah biduri kering adalah 1,04 gram. Rendemen cangkang buah biduri adalah 7,48%. Secara kasar dapat dihitung bahwa untuk menghasilkan rata rata 1 kg cangkang buah biduri kering maka dibutuhkan 1.000 buah cangkang buah biduri basah.

Pada penelitian ini, rendemen arang aktif cangkang biduri yang dihasilkan rata rata 32,75%. Faktor yang mempengaruhi rendemen cangkang biduri adalah suhu dan waktu aktivasi. Ketika suhu dan waktu aktivasi ditingkatkan, maka rendemen yang dihasilkan semakin rendah. Literatur (biji mete) menyatakan bahwa waktu aktivasi semakin lama maka senyawa seperti tar, destilat dan asam organik banyak yang keluar

karena adanya reaksi oksidasi antara arang dengan panas dalam tanur semakin besar. Apabila suhu ditingkatkan maka kecepatan reaksi semakin besar.

Kadar air arang aktif cangkang biduri yang dihasilkan pada penelitian ini rata-rata 10,78%. Nilai kadar air arang aktif cangkang biduri telah memenuhi standar kualitas arang aktif sesuai SNI 06-3730-1995 yaitu maksimal 15% untuk arang aktif berbentuk serbuk. Bila dibandingkan dengan kadar air arang aktif cangkang kemiri 2,30-5,75%, kadar air arang aktif cangkang biduri yang terikat pada arang aktif masih lebih tinggi hal ini terjadi karena dimungkinkan waktu karbonisasi selama 1 jam pada suhu 300°C, air belum semua keluar. Waktu karbonisasi pada cangkang kemiri adalah 2 jam. Di samping itu bila dibandingkan dengan kadar air arang aktif tempurung biji mete (3,14%), kandungan air arang aktif cangkang biduri yang terikat pada arang aktif masih lebih tinggi hal ini terjadi karena dimungkinkan saat karbonisasi pada suhu 300°C, air belum semua keluar.¹¹ Suhu karbonisasi pada tempurung biji mete adalah 800°C, 900°C dan 1000°C. Literatur menyebutkan makin tinggi suhu aktivasi dan semakin lama waktu aktivasi, kadar air yang dihasilkan semakin kecil. Kadar air yang rendah disebabkan permukaan arang aktif sedikit mengandung gugus fungsi yang bersifat polar sehingga interaksi antara uap air yang bersifat polar juga sedikit.

Pada penelitian ini kadar abu arang aktif yang dihasilkan rata-rata 88,50% belum memenuhi standar SNI. Kadar abu sesuai standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995, maksimal 10%. Literatur menyatakan bahwa makin tinggi konsentrasi aktivator NaOH menyebabkan kadar abu semakin meningkat.⁶ Hal ini terjadi karena pemberian konsentrasi akan memperluas permukaan arang aktif, suhu dan makin lama waktu aktivasi maka kadar abu yang dihasilkan semakin tinggi. Tingginya kadar abu dapat disebabkan adanya kontak dengan udara pada waktu aktivasi sehingga terjadi proses pembakaran lebih lanjut dimana arang aktif yang terbentuk berubah menjadi abu. Literatur lain menyebutkan, kadar abu yang besar dapat mengurangi daya serap arang aktif baik terhadap larutan maupun gas, karena kadar mineral yang terdapat dalam abu seperti kalium, kalsium, natrium, dan magnesium akan menyebar dalam pori-pori arang aktif sehingga kinerja arang aktif berkurang.¹¹

Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi Pb oleh arang aktif cangkang buah biduri ditunjukkan pada tabel 1. Pada waktu kontak 1 jam, efisiensi penyerapan mencapai 4%. Kenaikan waktu kontak menjadi 2 jam menaikkan efisiensi penyerapan Pb menjadi 5%. Namun pada waktu kontak 3 jam kenaikan waktu kontak tidak lagi menaikkan efisiensi penyerapan, bahkan cenderung turun menjadi 4,5%. Hal ini dikarenakan arang aktif mulai jenuh terhadap Pb dan kemampuan arang aktif untuk menyerap Pb dibatasi oleh perbandingan stoikiometri antara ion Pb⁺².

Tabel 1. Daya adsorpsi arang aktif cangkang biduri

Variasi	Kadar Pb awal (mg/L)	Kadar Pb akhir (mg/L)	Adsorpsi Pb (mg/L)
1 jam	10	9,60	0,40
2 jam	10	9,50	0,50
3 jam	10	9,55	0,45

Berat arang aktif cangkang biduri yang digunakan sangat rendah yaitu 0,3 gram dalam larutan 100 ml, bila dibandingkan dengan penelitian pada tempurung kelapa menggunakan arang aktif sebanyak 3 gram dalam larutan 25 mL menghasilkan efisiensi tertinggi 83,57%, (Erlina 2015). Hal ini menunjukkan bahwa berat arang aktif dan volume larutan yang digunakan dapat mempengaruhi efisiensi adsorpsi Pb. Pada penelitian selanjutnya dapat dimungkinkan penggunaan berat arang aktif cangkang biduri yang lebih tinggi dengan volume larutan yang lebih rendah sehingga menghasilkan efisiensi penyerapan yang tinggi.

KESIMPULAN

Cangkang buah biduri berhasil dibuat menjadi arang aktif dengan kadar air yang memenuhi standar mutu namun kadar abu masih belum memenuhi standar mutu arang aktif (SNI 06-3730-1995). Pemanfaatan arang aktif untuk penyerapan logam berat Pb dalam air terbukti bisa digunakan dengan efisiensi penyerapan 4-5% pada larutan Pb konsentrasi 10 mg/L. Penelitian selanjutnya dapat dimodifikasi dengan cara meningkatkan suhu dan waktu aktivasi cangkang buah biduri sehingga kadar abu bisa memenuhi standar mutu arang aktif (SNI 06-3730-1995) dan berat arang aktif yang digunakan ditambah beratnya sehingga efisiensi penyerapan logam berat Pb menjadi lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Putu N, Krismayanti A, Manurung M, Gusti N, Made A, Adhi D. Sintesis Arang Aktif Dari Limbah Batang Bambu Dengan Aktivator Naoh Sebagai Adsorben Ion Krom (Iii) Dan Timbal (Ii). *Cakra Kim.* 2019;7(Iii):189-197.
- Erlina, Umiatin, Budi E. Pengaruh Konsentrasi Larutan KoH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk

- Adsorpsi Logam Cu. *Pros Semin Nas Fis.* 2015;IV:55-60.
3. Siaka IM. Pemanfaatan arang aktif dari batang tanaman gumitir (*Tagetes erecta*) sebagai adsorben logam berat Pb (II) dan Cd (II) dengan aktivator NaOH. *Cakra Kim.* 2017;5(2):120-129.
 4. Laksono FB. Pemanfaatan Kulit Kapok Sebagai Karbon Aktif Untuk Penyerapan Logam Cu Dan Cr Pada Limbah Elektroplating. 2014;8(2):41-44.
 5. Rosalina. Pengaruh Aktivasi Fisika dan Kimia Arang Aktif Buah Bintaro Terhadap Daya Serap Logam Berat Krom. *Biopropal Industri.* 2016;7(1):35-45. <https://media.neliti.com/media/publications/58103-ID-pengaruh-aktivasi-fisika-dan-kimia-arang.pdf>.
 6. Maulana GAL. Proses Aktivasi Arang Aktif Dari Cangkang Kemiri (*Aleurites moluccana*) Dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Aktivator Kimia. 2017;42:247-256.
 7. Erawati E, Helmy E. Pembuatan Karbon Aktif Dari Gergaji Kayu Jati (*Tectona Grandis L , F*) (Ukuran Partikel Dan Jenis Aktivator). *8th Univ Res Colloq 2018.* 2018:97-104.
 8. Utami SP, Nurmayanti D, . M. EFEKTIVITAS KARBON AKTIF JERAMI SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR MANGAN (Mn) AIR SUMUR GALI (Studi di Puskesmas Krian pada Ruang UGD Kabupaten Sidoarjo 2019). *Gema Lingkungan Kesehatan.* 2020;18(1):45-52. doi:10.36568/kesling.v18i1.1078
 9. Wardalia. Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair. *J Integr Proses.* 2016;6(2):83-88.
 10. Sahara EDM. Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Dengan Aktivator NaOH. 2017:174-180.
 11. Alimah D. Sifat dan Mutu Arang Aktif Dari Tempurung Biji Mete (*Anacardium occidentale L*). *Penelit Has Hutan.* 2011;35(2):123-133.
-

VALIDASI METODE UJI PENETAPAN KADAR KROM HEKSAVALEN DALAM LIMBAH PADAT BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN DENGAN *TOXICITY CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE* (TCLP) SECARA SPEKTROFOTOMETRI SINAR TAMPAK

VALIDATION OF HEXAVALENT CHROMIUM ASSIGNMENT TEST METHOD IN SOLID WASTE HAZARDOUS AND TOXIC MATERIALS WITH *TOXICITY* *CHARACTERISTIC LEACHING PROCEDURE (TCLP)* BY SPECTROPHOTOMETRY

Reza Mulyawan,¹ Annisa Safitri,¹ Sri Ernawati²

¹Politeknik AKA Bogor, Jl. Pangeran Sogiri No 283 Tanah Baru Bogor

²Bogor Labs PT. Ruko Yasmin Sektor VI No 198, Jl. KH. R Abdullah Bin Nuh Bogor

E-mail: rezamulyawan@yahoo.com

ABSTRAK

Krom heksavalen atau dikenal juga kromium (VI) merupakan turunan dari CrO_3 , dapat dijumpai dalam dua senyawa, yaitu kromat (warna kuning) CrO_4^{2-} dan dikromat (warna merah-jingga) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.⁸ Ion Cr^{6+} merupakan bentuk logam Cr yang paling banyak dipelajari sifat racunnya. Sifat racun yang dibawa oleh logam ini dapat mengakibatkan keracunan kronis, akut, dan dapat menyebabkan kanker.¹ Pengembangan metode ini berdasarkan dua standar acuan yang berbeda, yaitu *United States Environmental Protection Agency US EPA 1311-1992* dengan *American Public Health Association (APHA) 3500-Cr-B-2017*. Pada percobaan ini dilakukan modifikasi variasi pH dengan pH normal pengukuran pH 2 dimodifikasi menjadi beberapa variasi pH, yaitu pH 1; 1,5; 2,5; dan 3. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan dengan kedua acuan standar yang berbeda dan modifikasi pH pada penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak dengan panjang gelombang 540 nm menghasilkan data yang valid sehingga dapat dijadikan analisis rutin di PT Bogor Labs. Parameter yang dilakukan terdiri dari linieritas, limit deteksi instrumen, limit kuantitasi, presisi (ripitabilitas dan presisi antara), akurasi, dan ketahanan metode. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan syarat keberterimaan yang ditetapkan oleh perusahaan yang mengacu pada EURACHEM (2014) sebagai standar acuan validasi metode. Hasil yang diperoleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9998 dengan syarat keberterimaan $r > 0,9950$. Limit deteksi instrumen (LDI) Cr (VI) sebesar $1\mu\text{g/L}$. Limit kuantitasi Cr (VI) sebesar $2,16\mu\text{g/L}$. Hasil uji presisi 0,05% dengan syarat keberterimaan $< 5\%$. Hasil uji presisi antara menghasilkan Fhitung (5,335) $< F_{\text{tabel}}$ (5,820) dapat diartikan presisi dapat diterima. Uji akurasi diperoleh rentang % *recovery* sebesar 94,37-95,99% untuk konsentrasi rendah, 91,68-91,81% untuk konsentrasi sedang, dan 88,57-90,33% untuk konsentrasi tinggi dengan syarat keberterimaan 85-115%. Nilai estimasi ketidakpastian penetapan kadar Cr (VI) dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak dengan $\lambda 540\text{ nm}$ sebesar $(36 \pm 2)\mu\text{g/L}$. Hasil dari data validasi metode uji penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak dengan panjang gelombang 540 nm dapat disimpulkan bahwa metode tersebut dinyatakan belum valid dan tidak dapat digunakan untuk keperluan analisis rutin.

Kata Kunci: validasi metode, krom heksavalen, B3, TCLP

ABSTRACT

Hexavalent chromium or also known as chromium (VI) is a derivative of CrO_3 , it can be found in two compounds, namely chromate (yellow) CrO_4^{2-} and dichromate (red-orange) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.⁸ The Cr^{6+} ion is the metal form of Cr with the most studied toxicity. The toxic nature carried by this metal can cause chronic, acute poisoning and can cause cancer. The development of this method is based on two different reference standards, namely the *United States Environmental Protection Agency US EPA 1311-1992* with the *American Public Health Association (APHA) 3500-Cr-B-2017*. In this experiment, a modification of pH variations was carried out with normal pH, pH 2 measurements were modified into several pH variations, namely pH 1; 1.5; 2.5; and 3. This experiment aims to prove with the two different standard references and pH modification on the hexavalent chromium content determination. in B3 solid waste using TCLP, visible spectrophotometry with a wavelength of 540 n produced valid data so that it could be used as routine analysis at PT Bogor Labs. The parameters carried out consisted of linearity, instrument detection limit, quantitation limit, precision (repeatability and intermediate precision), accuracy and method resistance. The results obtained are compared with the acceptance requirements set by the

company which refers to EURACHEM (2014) as the reference standard for method validation. The results obtained were the correlation coefficient (r) of 0.9998 with the acceptance conditions $r > 0.9950$. The instrument detection limit (LDI) Cr (VI) was $1 \mu\text{g/L}$. The quantitation limit for Cr (VI) is $2.16 \mu\text{g/L}$. The result of the precision test is 0.05% with an acceptability requirement of $< 5\%$. The results of the precision test between producing $F_{\text{count}} (5.335) < F_{\text{table}} (5.820)$ can be interpreted as acceptable precision. The accuracy test obtained a range of % recovery of 94.37-95.99% for low concentrations, 91.68-91.81% for moderate concentrations, and 88.57-90.33% for high concentrations with acceptance terms 85-115%. The estimated value of the uncertainty of determination of Cr (VI) levels in B3 solid waste with TCLP by visible light spectrophotometry with $\lambda 540 \text{ nm}$ was $(36 \pm 2) \mu\text{g/L}$. The results of the validation data of the hexavalent chromium assay method in B3 solid waste with TCLP using visible light spectrophotometry with a wavelength of 540 nm can be concluded that the method is not valid and cannot be used for routine analysis purposes.

Keywords: method validation, hexavalent chrome, B3, TCLP

PENDAHULUAN

Limbah adalah sisa suatu usaha atau kegiatan. Limbah B3 adalah zat, energi, atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan atau merusak lingkungan hidup, atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain (Peraturan Pemerintah Nomor 101, 2014). Salah satu limbah B3, yaitu limbah *bottom ash* yang biasanya berasal dari boiler. Salah satu zat atau bahan yang biasanya terkandung dalam limbah B3 bisa berupa logam berat yaitu Cr (VI). Sifat racun yang dibawa oleh logam ini dapat mengakibatkan keracunan kronis, akut, dan dapat menyebabkan kanker,¹ sehingga ion Cr^{6+} memberikan efek negatif bagi lingkungan karena beracun.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 85 (1999) limbah-limbah yang mencirikan atau menunjukkan karakteristik Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) hendaknya dilakukan uji TCLP terlebih dahulu sebelum ditimbun, sehingga penentuan parameter kadar krom heksavalen pada limbah padat dapat ditetapkan dengan metode *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). TCLP adalah metode ekstraksi contoh untuk analisis kimia yang digunakan sebagai metode analisis untuk mensimulasikan pencucian melalui tempat pembuangan akhir.² Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101, 2014 baku mutu karakteristik beracun melalui *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) untuk penetapan kategori limbah B3 dengan zat pencemar krom valensi enam nilainya sebesar 15 mg/L untuk TCLP-A dan $2,5 \text{ mg/L}$ untuk TCLP-B. Baku mutu ini digunakan untuk mengklasifikasikan limbah antara limbah B3 kategori 1 dengan limbah B3 kategori 2. Limbah B3 kategori 1 merupakan limbah yang memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLP-A. Limbah B3 kategori 2 merupakan limbah yang memiliki konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan lebih besar dari TCLP-B. Limbah yang telah dikategorikan ini digunakan untuk penanganan limbah selanjutnya, salah satunya dari segi penyimpanan limbah B3.

Pengembangan metode analisis krom heksavalen pada TCLP mengacu pada dua standar yang berbeda, yaitu *United States Environmental Protection Agency* US EPA 1311-1992¹⁰ untuk tahap preparasi sampel limbah padat dan *American Public Health Association* (APHA) 3500-Cr-B-2012⁵ untuk tahap pengukuran dengan spektrofotometri sinar tampak dengan panjang gelombang 540 nm dan terdapat modifikasi pH dalam preparasi pengukuran dengan spektrofotometri sinar tampak. Menurut APHA (2017)⁵, pH sebelum penambahan pereaksi difenilkarbazida dikondisikan menjadi $\text{pH } 2 \pm 0,5$ pada validasi penetapan kadar krom heksavalen dengan TCLP dikondisikan menjadi beberapa variasi pH yaitu pH 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3. Kadar krom heksavalen dinyatakan dalam konsentrasi terukur pada alat.

Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan dengan kedua acuan standar yang berbeda dan modifikasi pH pada penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak dengan panjang gelombang 540 nm didapatkan hasil yang valid.

METODE

Metode percobaan pada tahap preparasi sampel mengacu pada *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) 1311 Tahun 1992 sedangkan pada tahap pengukuran mengacu pada APHA. Percobaan terdiri atas tiga tahap, yaitu tahap preparasi contoh uji, tahap pengujian, dan tahap pengolahan data. Tahap preparasi sampel uji dilakukan dengan mengekstraksi sampel tanah menggunakan larutan pengeksrak selama 18 jam, pembuatan larutan deret standar Cr(VI), pembuatan larutan uji linearitas, pembuatan larutan uji presisi (ripitabilitas dan presisi antara), pembuatan larutan uji LDI dan LK, pembuatan larutan uji akurasi, dan pembuatan larutan uji ketahanan metode. Tahap pengujian meliputi pengujian linearitas, presisi (ripitabilitas dan presisi antara), LDI, LK, akurasi, ketahanan metode (variasi pH) dengan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang 540 nm. Pada tahap pengolahan data dilakukan secara statistika.

Bahan

Bahan yang digunakan pada percobaan terdiri dari bahan uji dan bahan kimia. Bahan uji yang dianalisis yaitu limbah padat berupa tanah *bottom ash*, sedangkan bahan kimia yang digunakan adalah larutan asam asetat glasial, natrium hidroksida 1 N, larutan pengestrak 1 (untuk contoh uji dengan pH <5), larutan induk Cr (VI) 500 mg/L, asam fosfat pekat, difenilkarbazida, dan akuades.

Alat

Alat yang digunakan pada percobaan ini terdiri dari alat utama dan alat penunjang. Alat utama yang digunakan yaitu, *rotary agitator*, spektrofotometer sinar tampak Agilent Technologies Cary 60, neraca analitik, pH Meter, dan botol ekstraksi. Alat penunjang yang digunakan meliputi pipet mohr 1,5,10,25 mL, kertas saring 0,45 μm , kuvet, corong, labu ukur 50, 100, 1000 mL, buret 50 mL, gelas piala 100 mL, gelas ukur 1000 mL, kaca arloji, bulb, sudip, dan labu semprot.

Cara Kerja

Penentuan Penggunaan Jenis Larutan Pengestrak

Sampel tanah *bottom ash* yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 5 g dalam gelas piala 100 mL, ditambahkan 96,50 mL akuades, ditutup dengan kaca arloji dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit, lalu pH diukur. pH sampel uji apabila menunjukkan nilai kurang dari 5,00 maka digunakan larutan pengestrak 1, sedangkan apabila pH lebih dari 5,00 maka ditambahkan 3,5 mL HCl 1 N ditutup dengan kaca aroji dan dipanaskan pada suhu 50°C selama 10 menit. Larutan dibiarkan dingin dan diukur pH-nya. pH sampel uji, apabila nilainya kurang dari 5 maka digunakan larutan pengestrak 1, sedangkan jika diperoleh pH lebih dari 5, maka digunakan larutan pengestrak 2.

Ekstraksi Sampel Uji Limbah Padat B3 Tanah *Bottom ash*

Sampel tanah *bottom ash* ditimbang sebanyak 50 g, dimasukkan ke botol ekstraktor kemudian ditambahkan pengestrak yang sesuai dengan pH sampel uji sampai volumenya 1000 mL. Sampel uji limbah padat B3 tanah *bottom ash* diekstraksi dengan *rotary agitator* selama 18 ± 2 jam dengan kecepatan putaran 30 ± 2 rpm. Hasil ekstraksi dilakukan penyaringan dengan kertas saring 0,45 μm .

Pembuatan Pereaksi Difenilkarbazida (DPC)

Sebanyak 250 mg 1,5-diphenylcarbazine (1,5-diphenylcarbohydrazide) dilarutkan ke labu takar 50 mL, ditera dengan aseton. Simpan pereaksi difenilkarbazida di dalam botol coklat.

Larutan Stok Cr (VI) 50000 $\mu\text{g/L}$

Ditimbang kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) sebanyak 141,4 mg, dilarutkan ke labu takar 100 mL, ditera dengan air suling. Simpan larutan stok Cr (VI) 500 $\mu\text{g/L}$ di dalam botol coklat.

Pembuatan Larutan Standar Intermediet Cr (VI) 500 $\mu\text{g/L}$

Dipipet 1 mL dari larutan induk Cr (VI) 50000 $\mu\text{g/L}$ ke labu takar 100mL lalu ditera dengan air suling. Perhitungan pembuatan larutan standar intermediet Cr(VI) 500 $\mu\text{g/L}$ dapat dilihat pada Lampiran 15.

Pembuatan Larutan Deret Standar Cr (VI) Konsentrasi (0-100) $\mu\text{g/L}$

Larutan standar intermediet Cr (VI) 500 $\mu\text{g/L}$ dipipet sebanyak 2; 4; 8; 12; 16 dan 20 mL masing-masing dimasukkan ke labu ukur 100 mL, ditera dengan akuades lalu dihomogenkan. Larutan ditambahkan 0,25 mL asam fosfat pekat atur pH sampai dengan $2 \pm 0,5$ dengan H_2SO_4 0,2 N, lalu ditambahkan 2 mL pereaksi difenilkarbazida. Perhitungan pembuatan larutan deret standar Cr(VI) dapat dilihat pada Lampiran 15.

Pembuatan Larutan Pengujian Linearitas Cr(VI) Konsentrasi (0-200) $\mu\text{g/L}$

Larutan induk standar Cr (VI) 500 $\mu\text{g/L}$ diturunkan dari buret sebanyak 0,42; 2; 4; 8; 16; 24; 32 dan 40 mL masing-masing dimasukkan ke labu takar 100 mL, ditera dengan larutan pengestrak 1 lalu dihomogenkan. Larutan ditambahkan 0,25 mL asam fosfat pekat diatur pH sampai dengan $2 \pm 0,5$ dengan H_2SO_4 0,2 N, lalu ditambahkan 2 mL larutan difenilkarbazida. Larutan uji linieritas Cr(VI) dipreparasi sebanyak tujuh kali pengulangan untuk masing-masing konsentrasi.

Pembuatan Larutan Pengujian Limit Deteksi Instrumen (LDI) Cr (VI) 1 $\mu\text{g/L}$ dan Limit Kuantitasi Cr (VI) 2 $\mu\text{g/L}$

Larutan induk standar Cr (VI) 500 $\mu\text{g/L}$ dipipet 0,2 mL ke labu takar 100 mL ditera dengan blangko sampel (larutan pengestrak 1) untuk limit deteksi instrumen Cr(VI), dan dipipet sebanyak 0,42 mL dari larutan intermediet Cr (VI) 500 $\mu\text{g/L}$ ke labu takar 100 mL ditera dengan larutan pengestrak 1 untuk limit

kuantisasi Cr(VI), dan dihomogenkan. Masing-masing larutan ditambahkan 0,25 mL asam fosfat pekat diatur pH sampai dengan $2 \pm 0,5$ dengan H_2SO_4 0,2 N, lalu ditambahkan 2 mL larutan difenilkarbazida. Larutan uji LDI dan LK Cr(VI) dipreparasi sebanyak sepuluh kali pengulangan.

Pembuatan Larutan Uji Presisi Cr (VI) 40 µg/L (ripitabilitas dan presisi antara)

Larutan intermediet Cr (VI) 500 µg/L dipipet sebanyak 8 mL ke labu takar 100mL, ditera dengan sampel hasil ekstrak yang telah disaring dan dihomogenkan. Larutan ditambahkan 0,25 mL asam fosfat pekat, diatur pH sampai dengan $2 \pm 0,5$ dengan H_2SO_4 0,2 N, lalu ditambahkan 2 mL larutan diphenylcarbazine. Larutan uji presisi Cr(VI) dipreparasi dibuat sebanyak tujuh kali pengulangan. Cara kerja pembuatan larutan sampel presisi antara sama dengan ripitabilitas. Sampel presisi antara dilakukan oleh analis yang berbeda, menggunakan peralatan yang berbeda, dan pada hari yang berbeda.

Pembuatan Larutan Uji Akurasi Cr (VI) Konsentrasi 1; 40; 80 µg/L

Larutan intermediet Cr (VI) 500 µg/L dipipet sebanyak 0,24; 8; dan 16 mL ke labu takar 100 mL, ditera dengan sampel hasil ekstrak yang telah disaring dan dihomogenkan. Larutan ditambahkan 0,25 mL asam fosfat pekat diatur pH sampai dengan $2 \pm 0,5$ dengan H_2SO_4 0,2 N, lalu ditambahkan 2 mL larutan difenilkarbazida. Larutan uji akurasi Cr (VI) dipreparasi sebanyak tujuh kali pengulangan untuk masing-masing konsentrasi.

Tahap Pengujian

Larutan sampel limbah padat B3 hasil ekstraksi dimasukkan ke labu takar 100 mL, ditambahkan 0,25 mL (5 tetes) H_3PO_4 diatur pH larutan menggunakan H_2SO_4 0,2 N menjadi pH $2,0 \pm 0,5$. Larutan sampel ditera sampai 100 mL dan dihomogenkan. Ditambahkan 2 mL larutan pereaksi difenilkarbazida, lalu dihomogenkan dan ditunggu sampai 10 menit untuk pembentukan warna sempurna. Dipindahkan secukupnya ke *cell* absorpsi 1 cm, dan diukur absorbansinya pada 540 nm menggunakan spektrofotometer sinar tampak dengan λ 540 nm. Kadar krom heksavalen dinyatakan dengan konsentrasi terukur pada alat. Pehitungan kadar krom heksavalen seperti Persamaan (1) berikut:

$$r (\mu g) = \frac{y (abs) - a (abs)}{b \left(\frac{abs}{\mu g/L} \right)} \tag{1}$$

Keterangan :

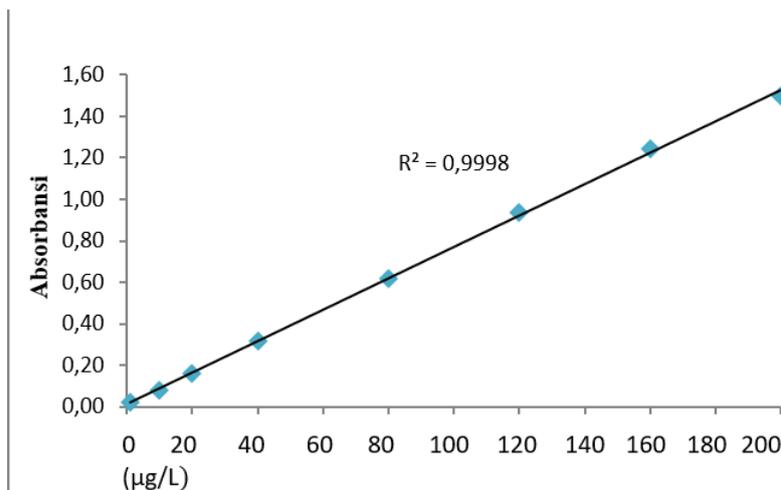
- y = Absorbansi (abs)
- a = Intersep (abs)
- b = Slope (abs/µg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip penetapan kadar krom heksavalen adalah ion krom heksavalen bereaksi dengan difenilkarbazida dalam suasana asam membentuk senyawa kompleks berwarna merah keunguan yang dapat menyerap cahaya tampak pada panjang gelombang 530 atau 540 nm. Pada validasi metode uji penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak dengan parameter linieritas, limit deteksi instrumen (LDI), limit kuantitasi (LK), presisi, akurasi, ketahanan metode, dan estimasi ketidakpastian pengukuran.

Linieritas

Uji linieritas suatu metode analisis dilakukan untuk membuktikan adanya hubungan yang linier antara konsentrasi analit dengan respon alat berupa absorbansi yang dinyatakan sebagai konsentrasi yang terukur, selain itu pengujian parameter linieritas juga bertujuan untuk mengetahui rentang kerja dari metode penetapan kadar Cr (VI) dalam limbah padat B3 dengan TCLP.⁴ Parameter yang menunjukkan adanya hubungan linier dinyatakan dalam koefisien korelasi (r). Pengujian linieritas dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan Cr (VI) pada konsentrasi 0-200 µg/L menggunakan spektrofotometer sinar tampak pada panjang gelombang 540 nm. Data hasil uji linearitas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Linieritas Cr⁶⁺

Hasil pengujian linearitas pada validasi metode uji penetapan kadar Cr (VI) dalam limbah padat B3 dengan TCLP menghasilkan nilai r sebesar 0,9998. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,9998 menunjukkan bahwa grafik tersebut memiliki hubungan yang linier dari konsentrasi 0 sampai 200 µg, artinya metode yang akan diuji akan memberikan hubungan antara absorbansi dan konsentrasi yang baik sehingga nilai dari data yang didapatkan dapat representatif dari konsentrasi 0 sampai 200 µg. Dapat disimpulkan konsentrasi 0 sampai 200 µg. merupakan rentang kerja dari metode ini, dan nilai koefisien korelasi telah memenuhi syarat keberterimaan yaitu $\geq 0,9950$. Hasil yang sama diperoleh pada pengukuran CRM Tanah dengan nilai r 0,9984.⁴

Limit Deteksi Instrumen (LDI) dan Limit Kuantisasi

Pengujian limit deteksi instrumen (LDI) dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu metode dalam menghasilkan nilai konsentrasi terkecil yang dapat terdeteksi secara tepat dan teliti. Uji limit deteksi instrumen dilakukan dengan mengukur larutan blanko pereaksi sebanyak sepuluh kali, jika blanko pereaksi menunjukkan respon negatif maka pengujian LDI dilakukan dengan membuat larutan blanko yang dispiking standar kerja Cr (VI) dengan konsentrasi terendah, yaitu konsentrasi 1 µg/L, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran LDI Cr (VI)

Uraian	Ulangan	Volume sampel uji blanko pereaksi di <i>spiking</i> Cr(VI) 2µg/L (mL)	Abs	Konsentrasi Cr(VI) dialat (µg/L)
Blanko pereaksi di <i>spiking</i> Cr(VI) 2µg/L	1	100	0,0161	1,75
	2	100	0,0158	1,71
	3	100	0,0157	1,69
	4	100	0,0162	1,76
	5	100	0,0164	1,78
	6	100	0,0156	1,69
	7	100	0,0155	1,68
	8	100	0,0161	1,75
	9	100	0,0161	1,75
	10	100	0,0152	1,64
Rata-rata			0,0159	1,72

Limit kuantitasi (LK) merupakan konsentrasi terendah analit yang dapat ditentukan secara kuantitatif dengan presisi dan akurasi yang dapat diterima. Pengujian limit kuantitasi dilakukan dengan cara membuat larutan blanko pereaksi yang dispiking Cr (VI) konsentrasi 2 µg/L. Dari hasil trial dengan *spiking* standar kerja 2 µg/L belum mendapatkan data yang presisi dan akurasi sehingga dilakukan trial dengan larutan standar kerja 2,16 µg/L. Data hasil trial dengan larutan standar kerja 2,16 µg/L. Pada konsentrasi 2,16 µg/L, %*recovery* berada pada rentang keberterimaan 85,00-115,00% yaitu 88,98-103,05%, ini menunjukkan bahwa pengujian LK Cr (VI) menghasilkan data dengan akurasi yang baik. Hasil uji presisi menunjukkan nilai %SBR yang dihasilkan sebesar 4,40% telah memenuhi persyaratan yaitu $\geq 5,00\%$. Sehingga 2,16 µg/L adalah

konsentrasi terkecil Cr (VI) yang dapat dipertanggungjawabkan dan dipercaya, seperti yang tertera dalam Tabel 2.

Tabel 2. Konfirmasi LK Cr (VI)

Ulangan	Konsentrasi Teoritis Cr(VI) ($\mu\text{g/L}$)	Konsentrasi Praktis Cr(VI) ($\mu\text{g/L}$)	%recovery (%)
1	2,16	2,03	94,03
2	2,16	2,04	94,21
3	2,16	2,01	93,13
4	2,16	2,02	93,67
5	2,16	1,96	90,60
6	2,16	1,92	88,98
7	2,16	2,02	93,31
8	2,16	1,92	88,98
9	2,16	2,23	103,05
10	2,16	1,95	90,06
Rata-rata		2,01	93,00
Akurasi			92,64-106,00%
Syarat keberterimaan akurasi			85,00-115,00%
SB (mg/L)		0,09	
SBR (%)		4,40	
Syarat Keberterimaan Presisi		≥ 5	

Presisi

Uji presisi dilakukan untuk mengetahui kedekatan antara beberapa hasil pengukuran yang diukur dengan cara yang sama. Semakin kecil nilai rpitabilitas maka semakin presisi hasil pengulangan pengujian tersebut, dengan demikian rpitabilitas juga dapat digunakan untuk melihat konsistensi analisis, kestabilan peralatan, dan tingkat kesulitan metode pengujian yang digunakan.³ Pengujian dilakukan dengan mengukur sampel yang telah dipreparasi dan dilakukan spiking dengan larutan standar Cr(VI) 40 $\mu\text{g/L}$ sebanyak tujuh kali ulangan.

Pengujian presisi antara bertujuan memastikan bahwa dalam laboratorium yang sama, maka suatu metode akan memberikan hasil yang sama pula yang ditunjukkan melalui persen simpangan baku relatif (%SBR) yang memasuki syarat keberterimaan dan uji F untuk menentukan tingkat kedekatan hasil kedua populasi. Pengujian dilakukan dengan membuat replikasi sebanyak tujuh kali.

Tabel 3. Hasil Uji Presisi Cr (VI)

Analisis 1		Analisis 2	
Ulangan	Konsentrasi Cr(VI) ($\mu\text{g/L}$)	Ulangan	Konsentrasi Cr(VI) ($\mu\text{g/L}$)
1	36,69	1	36,45
2	36,67	2	36,43
3	36,66	3	36,44
4	36,71	4	36,45
5	36,68	5	36,47
6	36,66	6	36,37
7	36,69	7	36,36
rata-rata	36,68	rata-rata	36,55
SB	0,02	SB	0,04
%SBR	0,05	%SBR	0,11

Merujuk hasil presisi yang diperoleh menunjukkan kesalahan acak yang masih dapat dikendalikan dengan pembuktian oleh Analisis 1 dan 2 yang ada di Tabel 3 yang dibuktikan tidak berbeda nyata secara statistik, dimana $F_{hitung} 5,355 < F_{tabel} 5,820$. Hasil yang didapat mengkonfirmasi penelitian pengukuran CRM Tanah dengan metode *rotary agitator* dan *ultrasonic cleaner* yang hasil presisinya memperoleh SBR 2,40% dan 0,87%.⁴

Akurasi

Pengujian akurasi bertujuan mengetahui derajat kedekatan hasil analisis (terukur) dengan kadar sebenarnya (teoritis) yang ditunjukkan melalui nilai perolehan kembali. Pengujian akurasi dilakukan dengan menggunakan larutan standar krom (VI) pada 3 level konsentrasi, yaitu konsentrasi rendah 1,20 µg/L, konsentrasi sedang 40 µg/L, dan konsentrasi tinggi 80 µg/L. Berikut hasil pengujian akurasi pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Akurasi Cr (VI) Dengan Berbagai Konsentrasi

Level Konsentrasi Cr (VI)	Ulangan	Konsentrasispike Cr(VI) Teoritis (µg/L)	Konsentrasi sampel + spike Cr(VI) Praktis (µg/L)	% Perolehan kembali
Rendah 1,20 µg/L	1	1,20	1,14	94,69
	2	1,20	1,14	95,02
	3	1,20	1,14	95,34
	4	1,20	1,14	95,67
	5	1,20	1,15	95,99
	6	1,20	1,13	94,69
	7	1,20	1,13	94,37
Sedang 40 µg/L	1	40	36,69	91,75
	2	40	36,67	91,71
	3	40	36,66	91,69
	4	40	36,71	91,81
	5	40	36,68	91,73
	6	40	36,66	91,68
	7	40	36,69	91,77
Tinggi 80 µg/L	1	80	70,83	88,57
	2	80	70,96	88,73
	3	80	70,86	88,61
	4	80	72,24	90,33
	5	80	72,19	90,27
	6	80	72,16	90,23
	7	80	72,18	90,26
Rentang % perolehan kembali			88,57±96,98%	
Syarat Keberterimaan % perolehan kembali			85±115%	

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh nilai %perolehan kembali pada konsentrasi rendah sebesar 95,53-96,18%, pada konsentrasi sedang sebesar 91,68-91,81% dan pada konsentrasi tinggi sebesar 88,57-90,33%. Nilai tersebut telah memenuhi syarat keberterimaan, yaitu interval nilai %perolehan kembali 85-115% yang menunjukkan bahwa pengujian akurasi pada penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP memberikan hasil akurasi yang baik.^{2,3,4,6,7,11} Nilai %perolehan kembali yang ideal, yaitu 100%, apabila nilai tersebut kurang atau lebih maka terjadi kesalahan saat pengujian. Kesalahan yang terjadi bersifat sistematis. Kesalahan sistematis merupakan kesalahan yang dapat diketahui dengan pasti atau ditimbulkan oleh adanya faktor tetap yang mengakibatkan hasil pengujian cenderung lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai sebenarnya. Kesalahan sistematis ini dapat berasal dari preparasi contoh, seperti proses ekstraksi, pembuatan larutan, dan penyaringan. Kesalahan sistematis pada pengujian ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil pengujian yang tetap memenuhi syarat keberterimaan. Pada pengukuran akurasi tanah menggunakan CRM dengan metode *rotary agitator* dan *ultrasonic cleaner* yang hasil akurasinya memperoleh nilai perolehan kembali 94,92% dan 91,68%^{2,3,4,6,7,11} menunjukkan metode yang dikembangkan dapat mengkonfirmasi akurasi dibandingkan penelitian lainnya.

Kondisi pH Optimum

Pengujian pH optimum dilakukan untuk mengetahui ketahanan metode terhadap suatu perubahan atau kondisi yang ekstrim. Pada penetapan kadar krom heksavalen menurut **APHA** (2017)^{5,8,10} untuk reaksi pembentukan warna dengan pereaksi DPC dalam suasana asam harus dilakukan pengondisian pH terlebih dahulu, yaitu dikondisikan sampai pH $2 \pm 0,5$ dengan menggunakan H₂SO₄ 0,2 N. Penelitian lain membuktikan pH sangat berpengaruh pada penetapan kadar krom (VI) dan membutuhkan perhatian pada optimumnya pH dengan kondisi asam¹². Pada percobaan ini, dilakukan pengujian contoh pada kondisi pH larutan yang berbeda. Larutan contoh dikondisikan pada pH 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3, variasi pH ini bertujuan untuk melihat pengaruh pH pada penetapan kadar krom heksavalen ini menghasilkan hasil yang berbeda nyata atau tidak berbeda nyata. Untuk mengetahui hal tersebut, hasil pengujian yang didapat dievaluasi dengan uji t

berpasangan ditunjukkan melalui pernyataan bahwa rata-rata populasi 1 tidak berbeda nyata dengan rata-rata populasi 2 untuk ketepatan hasil dan uji F untuk kedekatan hasil pengukuran dengan membandingkan antara simpangan baku (SB) metode 1 dengan metode 2 ($SB_1 > SB_2$). Hasil perhitungan dari uji beda nyata untuk parameter ketahanan metode Cr (VI) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Ketahanan Metode Penetapan Kadar Cr (VI) dengan TCLP Secara Spektrofotometri Sinar Tampak dengan λ 540 nm

Uraian	pH 1 dengan pH 2	pH 1,5 dengan pH 2	pH 2,5 dengan pH 2	pH 3 dengan pH 2
F_{tabel}	4,956	2,519	1,749	5,713
F_{hitung}	4,280	4,28	4,28	4,28
Hasil	$F_{hitung} > F_{tabel}$	$F_{hitung} < F_{tabel}$	$F_{hitung} < F_{tabel}$	$F_{hitung} > F_{tabel}$
T_{tabel}	1,782	2,179	2,179	1,782
T_{hitung}	104,777	56,942	8,533	227,768
Hasil	$T_{hitung} > T_{tabel}$	$T_{hitung} > T_{tabel}$	$T_{hitung} > T_{tabel}$	$T_{hitung} > T_{tabel}$

Hasil pengujian ketahanan metode pada Tabel 5, menunjukkan bahwa variasi pH memberikan hasil yang berbeda nyata. Pengondisian pH pada pengukuran konsentrasi Cr(VI) dalam limbah padat dengan TCLP tidak boleh diluar rentang pH 2 karena pada pH 2 konsentrasi yang dihasilkan sangat optimum. Pada pH 1,5 dan 2,5 konsentrasi yang didapatkan kurang optimum sehingga berbeda nyata dengan pH 2, tetapi data yang dihasilkan masih masuk rentang presisi dan akurasi yang diterima. Berbeda halnya pada pH 1 dan 3 terjadi perubahan konsentrasi yang signifikan sehingga tidak dapat menghasilkan data yang presisi dan akurasi. Maka dapat disimpulkan pada parameter ketahanan metode, penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak ini tidak tahan terhadap perubahan pH terutama untuk kadar sampel yang kecil.

Estimasi Ketidakpastian Pengukuran

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa ketidakpastian diperluas diperoleh sebesar 2,23 $\mu\text{g/L}$ sehingga nilai dari pelaporan hasil estimasi ketidakpastian penetapan kadar Cr(VI) dalam limbah padat B3 adalah $36 \pm 2 \mu\text{g}$ pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan 2 ($k=2$). Nilai ketidakpastian ini menunjukkan besarnya tingkat kesalahan yang terjadi pada penetapan kadar Cr(VI) dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak, serta nilai ketidakpastian diperluas ini menunjukkan bahwa pengukuran penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP dinilai benar pada rentang 34 - 38 $\mu\text{g/L}$. Nilai pelaporan ini memenuhi syarat keberterimaan, yaitu nilai ketidakpastian (U) kurang dari 15% nilai uji (2 $\mu\text{g/L}$ kurang dari 36 $\mu\text{g/L}$ atau 7% dari nilai uji) yang mengacu pada EURACHEM (2000).^{2,3,6,7,11} Asal ketidakpastian tertinggi berasal dari kurva kalibrasi yang memberikan nilai $2,32 \times 10^{-4}$ dan ketidakpastian asal perolehan kembali yang memberikan kontribusi $6,81 \times 10^{-4}$.

Tabel 6. Estimasi Ketidakpastian Pengukuran Penetapan Kadar Cr (VI) dalam Limbah Padat B3 dengan TCLP Secara Spektrofotometri Sinar Tampak

Uraian	Nilai xi	Satuan	Nilai μ	$\left(\frac{\mu}{xi}\right)$	$\left(\frac{\mu}{xi}\right)^2$
Ketidakpastian baku asal kurva kalibrasi	36,68	μg	0,56	0,02	$2,32 \times 10^{-4}$
Ketidakpastian asal presisi metode	36,68	μg	0,02	$4,91 \times 10^{-4}$	$2,41 \times 10^{-7}$
Ketidakpastian baku asal perolehan kembali	92,14	%	2,40	0,03	$6,81 \times 10^{-4}$
Ketidakpastian baku asal volume LT 100 mL	100	mL	0,07	$7,0 \times 10^{-4}$	$4,96 \times 10^{-7}$
Ketidakpastian asal volume PM 1 mL	1	mL	0,003	$3,03 \times 10^{-3}$	$9,24 \times 10^{-6}$
Ketidakpastian asal volume PM 25 mL	25	mL	0,05	$2,05 \times 10^{-3}$	$4,19 \times 10^{-6}$
Ketidakpastian asal volume buret 50 mL	50	mL	0,05	$1,11 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-6}$
			Jumlah		$9,29 \times 10^{-4}$
			U gabungan		$3,05 \times 10^{-2}$
			μC_{sx}		1,12 ($\mu\text{g/L}$)
			U diperluas		2 ($\mu\text{g/L}$)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa dari seluruh parameter validasi metode uji penetapan kadar krom heksavalen dalam limbah padat B3 dengan TCLP secara spektrofotometri sinar tampak memenuhi syarat keberterimaan. Metode ini valid dan dapat digunakan dalam analisis rutin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik AKA Bogor atas kesempatan yang diberikan, Bogor Labs PT atas kerjasama penelitiannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. PALAR, H. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.
2. RIYANTO. 2014. Validasi & Verifikasi Metode Uji: Sesuai dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi. Deepublish. Yogyakarta.
3. HADI, A. 2018. Statistika Pengendalian Mutu Internal. Institut Pertanian Bogor Press. Bogor.
4. Ardeniswan. 2011. Uji Banding Pelindian Logam Krom Cara Rotary Agitator Dengan Ultrasonic Cleaner Menggunakan Bahan Acuan Tanah Bersertifikat.
5. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 2017. Standard Method Environment for Waste Water SMEWW 22nd: 3500-Cr B.
6. EURACHEM/CITAC. 2000. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (Ellison, S. L. R., Rosslein, M., & Williams, A., Editor) (Second Edition). UK Department of Trade and Industry as Part of The National Measurement System Valid Analytical Measurement (VAM) Programme.
7. EURACHEM, 2014. The Fitness for Purpose of Analytical Methods: A laboratory Guide to Method Validation and Related Topics (2nd Edition).
8. HISKIA. 1992. Kimia Unsur dan Radiokimia. Citra Aditya Bakti. Jakarta.
9. NATIONAL ASSOCIATION OF TESTING AUTHORITIES (NATA). 2013. Technical Note 17-Guidelines for the Validation and Verification of Quantitative and Qualitative Test Methods. Commonwealth of Australia. Australia.
10. US EPA METHOD 1311. 1992. Toxicity Characteristic Leaching Procedure.
11. HARMITA. 2004. Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya. Jurnal Majalah. Ilmu Kefarmasian. Departemen Farmasi FMIPA UI. 1:3.
12. Dong Li, Chenxin Gui, Guozhu Ji, Siyang Hu, Xingzhong Yuan. 2019. An interpretation to Cr(VI) leaching concentration rebound phenomenon with time in ferrous-reduced Cr(VI)-bearing solid matrices. Journal of Hazardous Materials. Volume 378, 15 October 2019, 120734.

PENURUNAN KANDUNGAN COD DAN TSS PADA AIR LIMBAH DEGUMMING RAMI MENGGUNAKAN KOAGULAN SERBUK BIJI ASAM JAWA (*Tamarindus indica*)

REDUCTION OF COD AND TSS IN RAMIE FIBERS DEGUMMING WASTEWATER USING TAMARIND SEED POWDER AS COAGULANT

**Nagia Putri Munajat,² Suryatmana Tanuwidjadja,² Silvani Olival Alif,¹ Rizka Yulina,¹
Rr. Srie Gustiani¹**

¹Balai Besar Tekstil
Jl. Jend. Ahmad Yani No. 390, Bandung 40272
E-mail: sgustiani@yahoo.com

²Sekolah Tinggi Analisis Bakti Asih
Jl. Padasuka Atas No.233, Bandung 40192

ABSTRAK

Proses *degumming* serat rami menghasilkan air limbah yang dapat mencemari lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan ini dilakukan penelitian pengolahan air limbah hasil proses *degumming* serat rami dengan memanfaatkan serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indica*) sebagai koagulan, dengan harapan lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk biji asam jawa terhadap penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada air limbah dengan menggunakan metode koagulasi dan flokulasi. Variabel penelitian ini adalah dosis serbuk biji asam jawa sebesar 300 mg/L; 400 mg/L; 500 mg/L; dan 600 mg/L. Variasi kecepatan pengadukan 100 rpm dan 80 rpm, serta waktu pengadukan 5 menit dan 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar COD dan TSS yang optimal yaitu pada dosis koagulan serbuk biji asam jawa 600 mg/L dengan kecepatan pengadukan 100 rpm dan waktu pengadukan 10 menit. Penurunan COD sebesar 67% dari kadar COD awal sebesar 774,80 mg/L menjadi 242,15 mg/L. Penurunan TSS sebesar 82% dari kadar TSS awal sebesar 689,99 mg/L menjadi 125,55 mg/L. Pada penelitian ini, koagulan serbuk biji asam jawa dapat menurunkan kadar COD dan TSS pada air limbah hasil *degumming* serat rami, namun diperlukan aktivator serbuk untuk dapat lebih meningkatkan dan mengoptimalkan kinerja dalam proses koagulasi.

Kata kunci: asam jawa, *degumming*, rami, air limbah, COD, TSS

ABSTRACT

*The degumming process of ramie fibers will produce wastewater which will pollute the environment. To solve this problem, a research was conducted on wastewater treatment resulting from the degumming process of ramie fiber by utilizing tamarind seeds (*Tamarindus indica*) powder as coagulant, with the hope that it will be more economical and environmentally friendly. The aim of this study is to determine the effect of tamarind seeds powder to COD (*Chemical Oxygen Demand*) and TSS (*Total Suspended Solid*) in wastewater using coagulation and flocculation methods. The research variables were the doses of tamarind seed powder 300 mg/L; 400 mg/L; 500 mg/L; and 600 mg/L. As well as variations in the stirring speed of 100 rpm and 80 rpm and the stirring time of 5 minutes and 10 minutes. The results showed that the optimal reduction in COD and TSS levels at the dose of coagulant tamarind seed powder 600 mg/L with a stirring speed of 100 rpm and a stirring time of 10 minutes. The COD reduction was 67% from the first analysis COD level of 774.80 mg/L to 242.15 mg/L. The decrease in TSS was 82% from the TSS level of 689.99 mg/L to 125.55 mg/L. In this study, tamarind seeds powder can be reduced of COD and TSS level in wastewater from degumming process of ramie fibers, but needed the powder activator for increasing and optimizing of performance in coagulation process.*

Keywords: tamarind, *degumming*, ramie, wastewater, COD, TSS

PENDAHULUAN

Indonesia kaya bahan serat alam dan jumlah tumbuhan yang mengandung serat atau selulosa melimpah di Indonesia dan beberapa telah dibudidayakan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri. Serat alam yang ditemukan di Indonesia seperti rami berpotensi dikembangkan menjadi berbagai produk yang berkualitas dan bernilai tinggi. Pemanfaatan rami antara lain digunakan untuk rompi anti peluru, tabung gas, hingga kaki palsu.¹²

Pengolahan serat rami menjadi alternatif yang digunakan dalam bidang industri tekstil karena serat rami lebih kuat dibandingkan dengan serat lainnya. Dengan karakterisasi serat yang kuat tersebut, menjadikan pengolahan serat rami dilakukan dengan berbagai metode, seperti pengolahan secara biologi dan kimiawi, yang relatif memerlukan waktu lama, terutama pengolahan secara biologi atau yang sering dikenal dalam proses *degumming*.¹⁶

Proses *degumming* dilakukan melalui beberapa tahapan yang dimulai dari proses dekortikasi, yaitu pemisahan kulit rami dari batangnya dan tahap *degumming* menghilangkan sisa gum dan pektin hingga tahap pemutihan yang dilakukan secara kimiawi. Pengolahan serat rami secara kimiawi dengan menggunakan bahan seperti asam sulfat, NaOH, dan natrium karbonat dengan konsentrasi tinggi menyebabkan limbah yang dihasilkan lebih tinggi.⁹

Untuk menurunkan kadar zat organik dan anorganik dari proses pengolahan serat rami secara kimiawi diperlukan metode pengolahan limbah. Metode pengolahan air limbah yang banyak dilakukan pada industri adalah koagulasi-flokulasi karena sederhana.⁷

Pada proses koagulasi-flokulasi diperlukan penambahan suatu zat untuk membantu proses pengendapan partikel yang disebut sebagai koagulan.⁷ Koagulan akan membentuk partikel-partikel besar yang kemudian akan mengendap dan membentuk flok.

Bahan baku pembuatan koagulan biji asam jawa (*Tamarindus indica*) ini didasarkan untuk meningkatkan nilai guna biji asam jawa yang belum dimanfaatkan. Asam jawa merupakan salah satu produk perkebunan yang cukup melimpah di Indonesia. Nilai ekspor asam jawa di Indonesia tahun 2015 tercatat sebesar 10738 ton. Provinsi Jawa Timur menjadi penghasil asam jawa terbesar kedua di Indonesia dengan total produksi 1030 ton/tahun.

Berdasarkan latar belakang di atas, dilakukan penelitian upaya penurunan kadar polutan pada air limbah hasil pengolahan *degumming* serat rami dengan menggunakan serbuk biji asam jawa. Penelitian dilakukan dengan parameter berbeda dan variasi dosis koagulan serbuk biji asam jawa.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air limbah hasil *degumming* serat rami, akuades, biji asam jawa, indikator ferroin, indikator *phenolphthalein*, indikator *methyl orange*, larutan asam klorida (HCl) 0.1 N, larutan asam sulfat (H_2SO_4) 1 N, larutan asam sulfat (H_2SO_4) pekat, larutan baku kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), larutan ferro amonium sulfat (FAS) 0,05 M, larutan natrium tiosulfat (Na_2SO_4), larutan natrium hidroksida (NaOH) 40%, larutan natrium hidroksida (NaOH) 0.1 N, larutan natrium tetra borat ($Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8 H_2O$), dan larutan tembaga (II) sulfat ($CuSO_4$).

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ayakan, botol plastik, botol semprot, buret, corong, desikator, erlenmeyer, *filler*, gelas kimia, jar-tes, kertas saring, labu ukur 100 ml, mikropipet, neraca analitik merk Mettler Tolendo, dual perpose oven penangas air, pinset, pipet tetes, pipet ukur, pipet volume, pH meter, saringan, termometer, dan *tissue*.

Preparasi Serbuk Biji Asam Jawa

Biji yang telah menjadi serbuk kemudian diayak dengan ukuran 100 *mesh*, lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 105^\circ C$ selama 1 jam. Serbuk biji asam jawa siap untuk digunakan.

Karakterisasi Serbuk Biji Asam Jawa

1. Analisis Kadar Air (SNI 01-2891-1992)

Sampel serbuk biji asam jawa ditimbang dengan seksama sebanyak 4 gram pada kertas timbang yang sudah diketahui bobotnya. Sampel dikeringkan dalam oven suhu $\pm 105^\circ C$ selama 3 jam. Kemudian sampel didinginkan dalam desikator, lalu sampel ditimbang. Pekerjaan diulangi hingga diperoleh bobot tetap.

2. Analisis Kadar Abu (SNI 01-2891-1992)

Sampel serbuk biji asam jawa ditimbang dengan seksama sebanyak 4 gram contoh ke dalam sebuah cawan porselen (atau platina) yang telah diketahui bobotnya. Kemudian diarakkan di atas nyala pembakar, lalu diabukan dalam tanur listrik pada suhu maksimum $\pm 550^\circ C$ sampai pengabuan sempurna. Lalu didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang hingga diperoleh bobot tetap.

3. Analisis Protein (SNI 01-2354.4-2006)

Sampel serbuk biji asam jawa dimasukkan kedalam labu kjeldahl kemudian ditambahkan 7 gram Na_2SO_4 dan 0,8 gram $CuSO_4$ lalu ditambahkan pula 12 ml larutan H_2SO_4 pekat. Dilakukan destruksi pada ruang asam selama 2 jam sampai kepekatan larutan intensitas warnanya menurun. Didiamkan dulu selama 20 menit pada suhu ruang, kemudian ditambahkan 25 ml akuades dan larutan dipindahkan kedalam labu

destilasi. Kemudian 50 ml NaOH 40% dimasukkan kedalam larutan yang ada didalam labu destilasi dan dilakukan destilasi. Destilat yang keluar ditampung dalam labu erlenmeyer yang telah berisikan 30 ml larutan HCl 0,1 N dan ditambahkan indikator *phenoptalein* sampai destilat yg keluar tidak lagi bersifat basa. Destilat yang telah tertampung dititrasi oleh NaOH 0,1 N sampai larutan berubah warna menjadi merah muda seulas. Dilakukan perlakuan untuk blanko.

Proses Koagulasi-Flokulasi

Pada proses ini, dimasukkan koagulan serbuk biji asam jawa dengan variasi dosis koagulan: 300 mg; 400 mg; 500 mg; dan 600 mg ke dalam *beaker glass* berisi sampel limbah cair hasil *degumming* serat rami sebanyak 1 liter. Kemudian dilakukan pengadukan, dengan variasi kecepatan pengadukan koagulasi, yakni 100 rpm selama 2 menit dilanjutkan flokulasi sebesar 80 rpm selama 3 menit, dan pengadukan koagulasi 80 rpm selama 4 menit dengan dilanjutkan flokulasi sebesar 60 rpm selama 6 menit. Kemudian diendapkan selama 60 menit dan disaring.

Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*) (SNI 6989, 15:2019)

Pada proses analisis ini, dilakukan pemipetan 2,5 ml contoh uji kemudian ditambahkan 1,5 ml $K_2Cr_2O_7$ dan ditambahkan 3,5 ml H_2SO_4 pekat ke dalam tabung reaksi. Tabung ditutup dan dikocok sampai homogen. Kemudian tabung reaksi diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu $\pm 150^\circ C$ selama 2 jam. Didinginkan perlahan-lahan dan dipindahkan secara kuantitatif ke dalam erlenmeyer untuk titrasi. Ditambahkan indikator ferroin 0,05-0,1 ml atau 1-2 tetes dan diaduk sambil dititrasi dengan larutan baku FAS 0,05 M sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau-biru menjadi coklat-kemerahan. Volume larutan FAS yang digunakan kemudian dicatat. Lalu dilakukan untuk blanko.

Analisis TSS (*Total Suspended Solid*) (SNI 6989, 3:2019)

Kertas saring dimasukkan ke dalam oven suhu $\pm 105^\circ C$ selama 1 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang sebagai kertas saring kosong. Contoh uji diaduk hingga diperoleh contoh uji yang homogen, kemudian contoh uji diambil secara kuantitatif dengan volume 100 ml, dimasukkan ke dalam media penyaring, dan dinyalakan sistem vakum. Media penyaring dibilas 3 kali dengan masing-masing 10 ml air bebas mineral, dilanjutkan penyaringan dengan sistem vakum hingga tiris. Kemudian kertas saring berisi residu sampel dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada suhu $105^\circ C$, lalu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Langkah penimbangan diulangi sampai diperoleh berat tetap dan dihitung kadar TSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

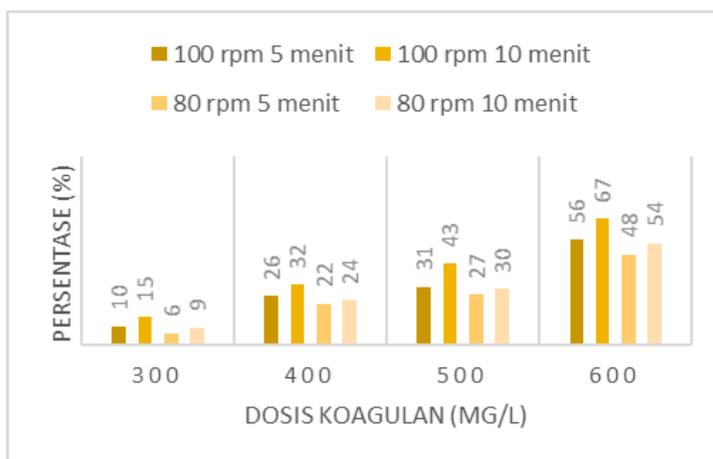
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan serbuk biji asam jawa sebagai koagulan alami. Serbuk biji asam jawa diperoleh dengan cara dipanaskan dan ditumbuk. Tetapi pada penelitian ini serbuk biji asam jawa telah didapatkan secara langsung dari Jawa Timur. Sehingga pengolahan serbuk biji asam jawa langsung dengan pemanasan pada suhu $\pm 105^\circ C$ dengan tujuan agar air saja yang teruapkan dan tidak dengan senyawa organik lainnya yang terkandung dalam sampel dengan pemanasan selama 1 jam. Serbuk diayak menggunakan ayakan berukuran 100 *mesh*. Tujuan pengayakan yakni untuk mendapatkan luas permukaan koagulan yang sama. Hasil karakterisasi serbuk biji asam jawa diperoleh dari analisis kadar air, kadar abu, dan protein. Hasil kadar air sebesar 5,11%. Analisis kadar air ini bertujuan untuk menentukan baik dan buruknya kualitas bahan. Analisis kadar abu pada serbuk biji asam jawa bertujuan untuk mengetahui bahan tersebut baik tidaknya untuk suatu pengolahan, dimana didapatkan hasil analisis kadar abu sebesar 3,48%. Serbuk biji asam jawa, menurut Wahyuni.F. & Sjojfan.O. (2018), memiliki kandungan protein yang cukup tinggi. Protein yang terkandung dalam biji asam jawa diharapkan dapat berperan sebagai polielektrolit alami yang kegunaannya mirip dengan koagulan sintetik. Analisis kadar protein dilakukan dengan metode kjeldahl. Proses analisis kadar protein ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu: destruksi, destilasi, dan titrasi. Hasil kadar protein biji asam jawa yakni sebesar 12,75%.¹³ Kadar protein *endosperm* biji asam jawa sebesar 13-20%. Hasil kadar protein yang didapat dibandingkan dengan hasil protein masih kurang dari *range* 13-20%. Untuk mendapatkan kadar protein tinggi perlu dilakukan penambahan aktivator seperti H_3PO_4 sebagai absorben agar optimal.¹²

Proses penurunan COD dan TSS pada air limbah *degumming* serat rami menggunakan metode sederhana, yaitu koagulasi-flokulasi dengan serbuk biji asam jawa. Proses koagulasi dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa ke dalam air limbah *degumming* serat rami bertujuan untuk mengkondisikan koloid untuk persiapan proses lanjutan, yaitu proses flokulasi. Senyawa yang mampu mendestabilkan koloid dengan cara menetralkan muatan listrik harus terkandung dalam koagulan agar koloid dapat bergabung dan membentuk flok. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan menggunakan alat jar tes, proses jar tes bertujuan untuk membandingkan kinerja koagulan yang optimal digunakan dalam mendapatkan padatan tersuspensi yang terdapat pada air limbah. Faktor yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi yaitu dosis

koagulan, waktu pengadukan, dan kecepatan pengadukan. Dosis koagulan yang digunakan yaitu 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L, dan 600 mg/L. Kecepatan pengadukan yang digunakan 80 rpm selama 5 menit dan 100 rpm selama 10 menit. Kategori proses kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan yaitu pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Selanjutnya dilakukan proses pengendapan selama 1 jam dengan tujuan partikel yang turun membentuk endapan sempurna dan dilakukan penyaringan untuk membersihkan partikel-partikel hasil pengendapan flokulan sehingga didapatkan air limbah yang bersih.

Kemudian dilakukan analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*) dimana bahan organik yang ada dalam air limbah *degumming* serat rami akan diurai secara kimia menggunakan oksidator kuat kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) pada suasana asam dan panas menggunakan katalisator asam sulfat pekat (H_2SO_4).

Kelebihan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dititrasi dengan larutan ferro ammonium sulfat (FAS) sehingga bisa diketahui banyaknya kalium dikromat yang dipakai untuk mengoksidasi bahan organik dalam sampel air limbah *degumming* serat rami sehingga nilai COD dapat dihitung. Hasil persentase penurunan COD dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



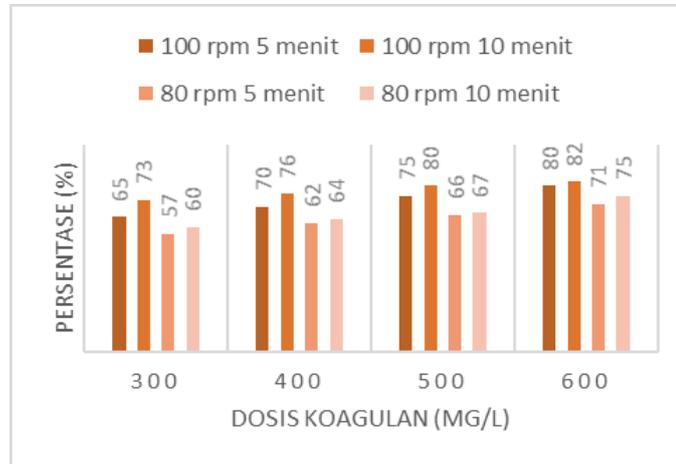
Gambar 1. Persentase Penurunan Kadar COD pada Air Limbah *Degumming* Serat Rami

Kadar COD awal air limbah *degumming* serat rami sebesar 744,80 mg/L mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan dengan biji asam jawa sebagai koagulan. Dari Gambar 1 dapat dilihat terjadi penurunan kadar COD yang paling signifikan yakni sekitar 67%, pada dosis koagulan asam jawa 600 mg/L dengan kecepatan pengadukan cepat 100 rpm dan waktu pengadukan selama 10 menit. Penurunan yang terjadi yakni dari kadar COD awal sebesar 744,80 mg/L turun menjadi 242,15 mg/L. Penurunan kadar COD yang kurang optimal tidak hanya dipengaruhi oleh proses kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan, tetapi dapat dipengaruhi juga oleh pH.^{16,10} Hal ini karena biji asam jawa memiliki kadar pH yang asam sekitar 2-4, disebabkan oleh kandungan asam tartarat yang terdapat dalam biji sehingga lebih cocok digunakan untuk pengolahan limbah cair yang memiliki pH basa (Dyah.D.P. *et al.* 2015). pH air limbah *degumming* serat rami memiliki pH basa, yaitu 10 dan menurun menjadi pH 9 setelah penambahan serbuk asam jawa dan memenuhi baku mutu air limbah industri yang ditetapkan Permen LHK P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 dengan ambang batas 6,0-9,0. Oleh karena itu, koagulan serbuk biji asam jawa mampu berikatan dengan ion-ion negatif dalam air limbah *degumming* serat rami untuk membentuk endapan. Penurunan kadar COD dengan dosis serbuk biji asam jawa yang optimal adalah 600 mg/L, dikarenakan semakin banyak dosis yang dipakai maka kandungan protein pun semakin tinggi. Protein yang terkandung terdiri dari beberapa gugus asam amino, dimana gugus asam amino sebenarnya bukan NH_3^+ , tetapi masih NH_2 . Karena asam amino bersifat zwitter ion dalam suatu pH tertentu, maka gugus NH_2 berubah menjadi NH_3^+ . NH_3^+ tersebut yang menjadi sisi aktif koagulan. Semakin tinggi konsentrasi H^+ dalam larutan akan meningkatkan sisi aktif biji asam jawa. Protein yang terdapat di dalam serbuk biji tersebut berperan sebagai polielektrolit. Polielektrolit adalah polimer yang membawa muatan positif atau negatif dari gugus yang terionisasi. Pada pelarut yang polar seperti air, gugus ini dapat terdisosiasi, meninggalkan muatan pada rantai polimernya dan melepaskan ion yang berlawanan dalam larutan.^{8,14}

Penambahan konsentrasi polielektrolit akan mengakibatkan berkurangnya kestabilan koloid dan akan mengurangi gaya tolak menolak antara partikel sehingga menunjang proses pengendapan. Partikel-partikel koloid tidak dapat bergabung sehingga memberikan kestabilan pada sistem koloid dan akan membentuk endapan.

Pengukuran TSS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Analisis gravimetri merupakan metode analisis senyawa murni stabil yang dapat segera diubah menjadi bentuk yang dapat ditimbang dengan

teliti. Hasil penyaringan pada kertas saring dimasukkan ke dalam oven $\pm 105^{\circ}$ C selama 1 jam dengan tujuan menghilangkan kadar air dalam kertas saring setelah proses penyaringan dengan sampel. Kemudian dilakukan penyimpanan keras saring berisi sampel di dalam desikator untuk menghilangkan kadar air secara optimal dan mempertahankan kelembaban bahan yang sensitif terhadap pengaruh udara lembab. Padatan tersuspensi ini berasal dari sisa-sisa perendaman dan pencucian serat rami setelah *biodegumming*. Hasil penurunan kadar TSS dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Persentase Penurunan Kadar TSS pada Air Limbah *Degumming* Serat Rami

Kadar TSS awal air limbah *degumming* serat rami yakni sebesar 689,99 mg/L, mengalami penurunan setelah dilakukan pengolahan dengan biji asam jawa sebagai koagulan. Dari Gambar 2 dapat dilihat terjadi penurunan kadar TSS yang paling signifikan, yakni 82% pada dosis koagulan asam jawa 600 mg/L dengan kecepatan pengadukan cepat 100 rpm dan waktu pengadukan selama 10 menit. Penurunan yang terjadi yakni dari kadar TSS awal sebesar 689,99 mg/L turun menjadi 125,55 mg/L. Penurunan kadar TSS disebabkan karena penggunaan dosis koagulan serbuk biji asam yang tergolong tidak terlalu tinggi, sehingga koagulan serbuk biji asam jawa tidak mengakibatkan air limbah *degumming* serat rami menjadi jenuh. Penggunaan dosis koagulan serbuk biji asam jawa yang terlalu tinggi mengakibatkan kemampuan penurunan kadar TSS pada air limbah menjadi jenuh dan koagulan serbuk biji asam jawa yang tersisa akan mengotori larutan yang ada. Dosis koagulan yang digunakan rendah, sehingga mampu menetralkan koloid yang terkandung dalam air limbah *degumming* serat rami membentuk flok.¹⁴ Sama halnya dengan mekanisme protein dalam penurunan COD, bahwa protein yang terkandung terdiri dari beberapa gugus asam amino, dimana gugus asam amino sebenarnya bukan NH_3^+ , tetapi masih NH_2 . Karena asam amino bersifat zwitter ion dalam suatu pH tertentu, maka gugus NH_2 berubah menjadi NH_3^+ . NH_3^+ tersebut yang menjadi sisi aktif koagulan. Serbuk biji asam jawa memiliki senyawa pati yang merupakan senyawa penghubung dalam mempercepat terjadinya destabilisasi antar partikel koloid.^{9,13} Karena pati mudah membentuk koloid dalam air, maka penurunan TSS lebih optimal dibandingkan dengan penurunan COD.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian mengenai aplikasi penggunaan serbuk biji asam jawa dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada air limbah *degumming* serat rami, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil karakterisasi serbuk biji asam jawa sebagai koagulan yakni mengandung kadar air sebesar 5,11%, kadar abu sebesar 3,48%, dan kadar protein sebesar 12,75%.
2. Serbuk biji asam jawa sebagai koagulan dapat digunakan dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada air limbah *degumming* serat rami dengan dosis yang optimal sebesar 600 mg/L dan kecepatan pengadukan dan waktu yang optimal yaitu pengadukan cepat 100 rpm dengan waktu 10 menit.

DAFTAR PUSTAKA

1. [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2019. SNI 6989.15:2019. Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimia (*Chemical Oxygen Demand*). Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
2. [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2019. SNI 6989.3:2019. Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids/TSS) secara Gravimetri.
3. [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1995. SNI 06-3730-95. Standar Kualitas Arang Aktif. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.

4. [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1992. SNI 01-2891-1992. Cara Uji Makanan dan Minuman. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
 5. [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2006. SNI 01-2891-1992. Penentuan Kadar Protein Metode Total Nitrogen. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
 6. [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2009. SNI 6989.73-2009. Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
 7. Angela. et al. (2018). “Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada berbagai Variasi Operasi”: Research article [Online]. Vol. 12, No. 2, 2018.
 8. Atima.W. (2015). “BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah”: Jurnal Biology Science & Education 2015. [Online].
 9. Artini.R.PN. et al. (2018). “Penelitian Kualitas Air Sungai Balian, Tabanan, Bali Tahun 2018”: JURNAL KESEHATAN TERPADU 2 (1): 25–30 [Online].
 10. Bachtiar.N.M. et al. (2016). “Penurunan Turbidity, TSS dan COD Menggunakan Tepung Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Sebagai Nano Biokoagulan dalam Pengolahan Air Limbah Domestik (Grey Water)” : Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 5, No. 4 (2016). [Online].
 11. Hardi.O.F. et al. (2017). “Ekstrak Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Sebagai Koagulan Limbah Cair Industri Tempe Tahun 2017”: Jurnal Vol 15 No. 3 Desember 2017. [Online].
 12. Kementerian Industri Republik Indonesia. (2015). Penetapan Standar Industri Tekstil, Pencelupan, Pencapan dan Penyempurnaan. Jakarta: Kepmenperin.
 13. Mawaddah.D., Titin.A.Z. & Gusrizal. (2015). “Penurunan Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* Linn.)” JURNAL MIPA Universitas Tanjungpura 3 (1): 27-31. 2015. [Online].
 14. Rusydi.F.A. et al. (2017). “Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi”: Jurnal Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI., 2017. [Online].
 15. Suwardi, F. B. (2017). “Keefektifan Koagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dalam Menurunkan Kadar Total Suspended Solid Pada Limbah Cair Industri Batik”. Skripsi Setara S1, Universitas Muhammadiyah Surakarta [Online].
 16. Wahyuni.F. & Sjoifjan.O. (2018). “Pengaruh Pengukusan Terhadap Kandungan Nutrisi Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L) sebagai Bahan Pakan Unggas”: Jurnal of Tropical Animal Production Vol 19, No. 2 pp. 139-148, 2018. [Online].
 17. Wati.D.A. et al. (2015). “Keefektifan Penambahan Koagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) untuk Menurunkan Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) pada Limbah Cair Tahu”: Skripsi, Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta. [Online].
-

KARAKTERISASI LIMBAH SERAT RAMI (*Boehmeria nivea*) SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN BAKU TEKSTIL DAN PRODUK TEKSTIL TERBARUKAN

CHARACTERIZATION OF RAMI FIBER WASTE (*Boehmeria nivea*) AS A RENEWABLE ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR TEXTILE AND TEXTILE PRODUCT

Naufal Arafah,¹ Noerati,¹ Doni Sugiyana²

¹Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No. 31 Bandung
²Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal A. Yani No. 390 Bandung
E-mail: naufal.arafah@gmail.com

ABSTRAK

Ketergantungan industri tekstil dan produk tekstil (TPT) nasional terhadap bahan baku kapas impor menstimulasi eksplorasi serat rami dalam negeri sebagai upaya substitusi bahan baku TPT. Namun demikian, budi daya tanaman rami dan produksi serat rami menghasilkan produk limbah dari serat rami sekitar 10% dari total produksi serat rami. Limbah serat rami memiliki potensi dan fakta yang diperkirakan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan baku TPT yang bersifat terbarukan. Produk TPT berbasis limbah serat rami banyak diaplikasikan sebagai tekstil teknik berupa komposit yang berpenguat serat yang digunakan dalam bidang otomotif, bangunan, dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi limbah serat rami dan mempelajari potensinya sebagai bahan baku TPT terbarukan. Karakterisasi dan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi analisis fisik dengan uji mikroskopik, panjang serat, kehalusan serat, dan kadar air beserta analisis mekanik dengan uji kekuatan dan proporsi mulur. Hasil pengujian menunjukkan limbah serat rami memiliki panjang serat sebesar 4,25 cm, kehalusan serat sebesar 2,98 denier, kadar udara sebesar 2,08%, kekuatan tarik sebesar 40,49 g/tex, dan proporsi mulur sebesar 1,3%

Kata kunci: tanaman rami, serat rami, limbah serat rami, bahan baku terbarukan

ABSTRACT

The dependence of the national textile and textile products (TPT) industry on imported cotton raw materials stimulates exploration of domestic hemp fibers as an effort to substitute raw materials for TPT. However, hemp cultivation and production of hemp fiber produce waste products from rami fiber about 10% of the total hemp fiber production. Hemp fiber waste has the potential and facts that are thought to be used as an alternative to renewable textile raw materials. Hemp fiber-based textile products are widely applied as technical textiles in the form of fiber-reinforced composites used in the automotive, building, and other fields. This study aims to characterize rami fiber waste and study its potential as a renewable textile raw material. Characterization and testing carried out in this study included physical analysis using microscopic tests, fiber length, fiber fineness, and moisture regain along with mechanical analysis using strength and creep proportion tests. The test results show that the rami fiber waste has a fiber length of 4,25 cm, a fiber size of 2,98 denier, a moisture regain of 2,08%, a tensile strength of 40,49 g/tex, and a creep proportion of 1,3%.

Keywords: rami plant, rami fiber, rami fiber waste, renewable raw materials

PENDAHULUAN

Ketergantungan industri TPT yang sangat tinggi terhadap bahan baku selulosa dari kapas impor ini perlu segera dicari solusi konkritnya. Diharapkan Indonesia memiliki sumber daya alam (SDA) lain penghasil serat selulosa untuk alternatif bahan baku industri TPT yang pasokannya dapat dipenuhi dari produksi dalam negeri sehingga ketergantungan terhadap serat kapas impor dapat dikurangi. Dalam rangka memajukan industri serat alam Indonesia melalui prioritas riset nasional (PRN), pemerintah membuat prioritas riset inovasi tahun 2020-2024 pada fokus riset rekayasa keteknikan salah satu poinnya adalah tekstil berbahan baku rami²³ dan saat ini masih minim pengembangan dan penelitian tentang bahan baku rami sehingga para akademisi dari berbagai institusi membuat suatu wadah yang dinamakan Konsorsium Rami Indonesia (KORI) yang tujuannya untuk meningkatkan akselerasi riset pengembangan tanaman rami di Indonesia.

Rami adalah salah satu serat tumbuhan tertua yang telah digunakan ribuan tahun. Sejak jaman prasejarah rami telah digunakan di Cina, India dan Indonesia.¹ Di Indonesia, tanaman rami terdapat hampir di seluruh daerah di tanah air. Sama halnya dengan serat kapas, komposisi utama penyusun serat rami adalah selulosa (72-97%).² Namun demikian, budi daya tanaman rami yang ditemukan di CV. Ramindo Berkah Persada Sejahtera di Desa Gandok, Kecamatan Kalikajar, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah dan luas pertanamannya sudah mencapai 13 ha produksi serat rami menghasilkan produk samping limbah serat rami hasil proses dekortikasi sekitar 10% dari total produksi serat rami dengan proses pengolahan secara mekanik dan tidak menggunakan pembantu zat kimia lainnya maka perlu dilakukan penelitian untuk mengkararakteristik limbah serat rami yang diperkirakan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan baku TPT yang bersifat terbarukan dengan potensi ketersediaan yang melimpah sejalan dengan usaha riset yg sedang digalakkan saat ini dalam pengembangan serat rami sebagai bagian dari PRN.

Pada saat ini lahan pertanian dunia yang ditanami kapas hanya sekitar 2,5%. Hal ini tidak akan mencukupi kebutuhan kapas dunia. Meningkatnya permintaan serat kapas juga menyebabkan peningkatan penggunaan herbisida dan pestisida serta penggunaan pupuk dalam jumlah besar untuk monokultur kapas.³ Meskipun serat kapas berkelanjutan, namun produksi 1 kg serat kapas memerlukan lebih dari 20.000 liter air, menggunakan 24% insektisida dan 11% pestisida.⁴ Untuk memenuhi kebutuhan serat tekstil selain kapas, disamping meningkatnya perhatian akan dampak lingkungan akibat penggunaan polimer sintetik yang sulit didegradasi dari sumber daya yang tidak terbarukan, telah mendorong pencarian solusi alternatif bahan baku. Hal ini menjadikan selulosa sebagai sumber alternatif yang sangat baik sebagai pengganti serat polimer berbasis minyak bumi.⁵

Teknologi yang semakin maju saat ini, membuka peluang untuk memanfaatkan serat rami tidak hanya untuk bahan baku tekstil tapi sudah merambah dalam bidang farmasi.⁶ Ekstrak metanolik akar rami menunjukkan efek antidiabetik, antihiperlipidemik, dan antioksidan,⁷ ekstrak air daun rami terbukti sebagai antimikroba,⁸ ekstrak etanolik akar rami memiliki aktivitas anti-hepatitis virus B.⁹ Ekstrak daun rami memiliki aktivitas antioksidan dan antitumor,¹⁰ dan penelitian terakhir membuktikan bahwa ekstrak etanolik akar rami memiliki aktivitas menurunkan kadar kolesterol.¹¹ Selain mempunyai aktivitas farmakologi yang disebutkan di atas, berdasarkan beberapa penelitian serat tanaman rami dapat digunakan sebagai suplemen kapas sebagai bahan baku tekstil.¹² Serat rami dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan komposit yang ramah lingkungan salah satunya sebagai serat penguat (*reinforcement fiber*) pada industri komposit. Diperkirakan kebutuhan serat alam dari tumbuhan pengganti serat gelas untuk pasar produk komposit di dunia dapat mencapai 120.000 MT.¹⁴ Konsumsi serat alam untuk produk komposit di Eropa bahkan diperkirakan mengalami peningkatan 10% setiap tahunnya. Sebagai contoh, di Eropa penggunaan serat alam untuk bahan baku komposit pada tiap unit kendaraan dapat mencapai 5-10 kg. Peluang besar ini perlu dimanfaatkan sebaik mungkin dengan pengembangan rami secara menyeluruh melalui peningkatan budidaya, penguasaan teknologi pengolahan, dan diversifikasi produk akhir.

Pengembangan limbah serat rami pendek sudah dimanfaatkan untuk membuat kertas berkualitas tinggi antara lain kertas uang dan kertas rokok oleh perusahaan SwicoFil. Limbah daun rami sebagai pakan ternak dan limbah dekortikasi dapat juga digunakan sebagai bahan baku pulp, kompos, *particle board*, dan media untuk penanaman berbagai komoditas pertanian antara lain jamur merang dan strawberry,¹³ sampai saat ini belum ada ada studi yang dilakukan mengenai karakterisasi limbah serat rami terutama untuk alternatif bahan baku TPT terbarukan.

KARAKTERISTIK SERAT RAMI

Pengembangan rami (*Boehmeria nivea* Gaud.) telah lama dilakukan oleh masyarakat Indonesia, yaitu sejak zaman pemerintah Kolonial Belanda (Heyne, 1987). Pada saat itu serat rami digunakan sebagai suplemen kapas untuk industri tekstil. Serat rami didiskripsikan mirip dengan serat kapas dengan beberapa kelebihan, yaitu serat lebih panjang, kekuatan serat lebih besar, daya serap air juga lebih besar. Namun demikian, serat rami lebih kasar dan daya mulurnya lebih rendah dibandingkan karakter yang dimiliki serat kapas.¹²

Tanaman rami atau yang dikenal dengan sebutan China grass tergolong ke dalam kelompok serat batang. Tanaman rami menghasilkan serat dari kulit kayunya. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama halnya seperti kapas, linen, hemp, dan lain-lain. Rami memiliki sejumlah keunggulan yang membedakannya dengan serat batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan seluruh jenis serat baik serat alam maupun sintesis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun. Karakteristik serat rami dan serat selulosa lain dapat dilihat pada Tabel 1, untuk karakterisasi limbah serat rami dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik kimia dan fisika serat rami dibandingkan dengan serat-serat selulosa lainnya¹⁵

Karakteristik	Rami	Kapas	Hemp	Flax
Panjang serat rata-rata (mm)	120-150	20-30	15-25	13-14
Diameter serat rata-rata (mm)	40-60	14-16	15-30	17-20
Daya tarik (kg/mm ²)	95	45	83	78
Kandungan kelembaban (%)	12	8	12	12
Selulosa	72-97*	88-96	67-78	64-86
Lignin	1-0	0	6-4	5-1
Hemiselulosa, pektin, dll	27-3	12-4	27-18	31-14

Tabel 2. Komposisi limbah serat rami¹⁶

Komposisi	Limbah rami (%)
Selulosa	3,67
Holoseululosa	56,25
Zat organik lain	40,08

Jika dibandingkan dengan kapas, flax, dan hemp, maka rami memiliki kekuatan yang paling tinggi. Marsyahyo, dkk memanfaatkan keunggulan kekuatan serat rami untuk membuat panel tahan peluru dari komposit serat rami.¹⁷ Dimensi serat rami tidak berubah pada kenaikan kelembaban hingga 25%. Daya serap terhadap airnya (*moisture regain*) terbilang tinggi, yaitu 12% sedangkan daya serap kapas hanya 8%. Daya serap yang lebih tinggi ini menjadikan rami lebih mampu menyerap cairan tubuh seperti keringat. Oleh karena itu rami sangat sesuai untuk digunakan sebagai pakaian musim panas. Limbah serat rami memiliki kadar selulosa lebih sedikit dibandingkan serat rami, dan kadar holoseululosa yang lebih banyak. Holoseululosa adalah bagian dari serat berupa sisa kayu dari batang yang tidak atau sedikit mengandung lignin dan terdiri atas campuran selulosa dan hemiselulosa.

Rami juga memiliki ketahanan yang baik terhadap serangan bakteri, jamur, serangga dan pelapukan, stabilitas dimensi tinggi, serta ketahanan luntur warna yang baik terhadap sinar dan pencucian.¹⁸ Dengan berbagai keunggulan dan beberapa sifatnya yang menyerupai serat kapas, serat rami dan limbah serat rami diharapkan akan sesuai apabila dijadikan sebagai alternatif penghasil serat selulosa untuk mengurangi ketergantungan terhadap kapas impor.

METODE

Bahan dan peralatan

Bahan utama yang digunakan adalah limbah serat rami (CV. Ramindo Berkah Persada Sejahtera di Desa Gandok, Kecamatan Kalikajar, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah). Peralatan utama yang digunakan adalah mesin *opener* untuk pembuka sekaligus pembersih limbah serat rami dari Balai Besar Tekstil.

Pengujian

Beberapa parameter yang diuji antara lain:

1. Pengujian mikroskop penampang melintang dan membujur serat
2. Panjang serat SNI 08-0590-1989
3. Kehalusan serat SNI 08-1111-1989
4. *Moisture regain* (Kandungan kelembaban) SNI 8100-2015
5. Kekuatan tarik dan mulur serat perhelai SNI 08-0618-1989

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik dan mekanik serat merupakan karakteristik yang sangat penting untuk diketahui. Pengukuran karakteristik fisik serat meliputi penampang melintang dan membujur serat, panjang serat, kehalusan serat, dan *moisture regain*. Pengukuran karakteristik mekanik meliputi kekuatan tarik dan mulur perhelai serat. Hasil dari pengukuran karakteristik fisik dan mekanik serat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik serat

Karakteristik serat	Besaran rata-rata
Panjang serat (cm)	4,25
Kehalusan serat (Tex)	2,98
Kandungan kelembaban (%)	2,08
Kekuatan Tarik Perhelai (g/tex)	40,49
Mulur Perhelai (%)	1,3

Penampang Melintang dan Membujur

Penampang melintang dan membujur limbah serat rami pada Gambar 1 masih sama dengan penampang melintang dan membujur serat rami,¹⁸ limbah serat rami mirip seperti kapas dengan lumen yang lebih besar daripada kapas, tetapi penampang memanjang limbah serat rami tidak terdapat pilinan seperti halnya serat kapas.



Membujur



Melintang

Gambar 1. Hasil uji mikroskop

Panjang Serat

Panjang merupakan salah satu karakteristik atau sifat penting dari serat. Setiap serat memiliki struktur bentuk dan ukuran yang berbeda-beda bergantung pada sifat seratnya. Sifat serat dalam industri tekstil sangat berperan penting, karena sifat serat menentukan bahan tekstil yang diproduksi. Selain itu dengan mengetahui sifat serat, dapat menentukan proses pengolahan yang tepat.

Tabel 5. Panjang serat limbah serat rami, serat rami, kapas, dan kapuk

Panjang serat	Besaran rata-rata (cm)
Limbah serat rami	4,25
Serat rami	2,98
Kapas	2,08
Kapuk	40,49

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui panjang limbah serat rami 4,25 cm. Panjang serat yang dihasilkan bergantung pada panjang batang atau bahan baku yang digunakan. Limbah serat rami memiliki ukuran yang lebih pendek dibandingkan dengan serat rami 10,24 cm,¹⁹ tetapi lebih panjang dari pada serta yang sudah komersial yaitu serat kapas 2,85 cm dan serat kapuk 1,60 cm.²⁰ Nilai panjang limbah serat rami termasuk ke dalam serat *staple* panjang dan memerlukan pemintalan khusus untuk mengolahnya menjadi benang.

Kehalusan Serat

Kehalusan merupakan salah satu sifat fisik yang penting dan perlu untuk diamati. Kehalusan serat merupakan ukuran relatif diameter yang dinyatakan dalam berat persatuan panjang.²¹ Nilai tex yang kecil menunjukkan semakin halus serat. Semakin kecil nilai kehalusan serat, maka serat tersebut akan semakin ringan. Dalam pembuatan benang, serat yang halus akan cenderung menghasilkan banyak *nep* (kusut). Semakin kecil nilai kehalusan maka akan berpotensi sering terjadi putus benang pada saat proses pembuatan *roving* di mesin *roving/simplex* maupun saat pembuatan benang di mesin *ring spinning* atau *open end*.

Tabel 6. Kehalusan limbah serat rami, serat rami, dan kapas

Kehalusan serat	Besaran rata-rata (tex)
Limbah serat rami	2,98
Serat rami	0,67
Kapas	0,12

Berdasarkan nilai rata-rata kehalusan pada Tabel 6 diketahui bahwa rata-rata kehalusan limbah serat rami sebesar 2,98 tex. Limbah serat rami memiliki nilai kehalusan yang cukup besar jika dibandingkan dengan kehalusan serat rami sebesar 6 denier atau setara dengan 0,67 tex dan serat kapas 0,12.^{19,20} Nilai kehalusan

limbah serat rami yang besar disebabkan oleh proses pembukaan serat melalui proses mekanik dengan cara pemukulan dengan gaya sentrifugal sehingga masih banyak serat yang menggumpal diujung serat.

Moisture Regain

Moisture regain merupakan indeks karakteristik kemampuan absorpsi uap air di udara (kelembaban), yang juga merefleksikan karakteristik struktur serat. Nilai *moisture regain* dinyatakan dalam %. Hampir semua serat menyerap air sampai batas tertentu. Beberapa macam serat menyerap uap air lebih banyak dibandingkan serat yang lain. Serat yang menyerap air lebih banyak dapat dikatakan serat tersebut bersifat higroskopis.¹⁸ Besarnya nilai *moisture regain* sangat penting dalam industri tekstil dikarenakan berhubungan dengan kenyamanan (*comfort*) saat digunakan.

Tabel 7. Moisture regain serat rami, serat rami, kapas, dan kapuk

Moisture regain	Besaran rata-rata (%)
Limbah serat rami	2,08
Serat rami	12
Kapas	8,5
Kapuk	8

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata *moisture regain* (MR) limbah serat rami sebesar 2,08%. Serat ini memiliki nilai *moisture regain* (MR) yang lebih kecil, jika dibandingkan dengan serat rami yaitu sebesar 12%,¹⁹ untuk kapas 8,5%, dan kapuk 8,0%.²⁰ Hal ini menunjukkan bahwa limbah serat rami masih memiliki kemampuan menyerap air, namun apabila nilai MR dari suatu serat terlalu tinggi kemungkinan dapat menyebabkan umur simpan yang lebih pendek, karena nilai kadar air serat akan bertambah dan memungkinkan terjadinya tumbuh jamur.

Kekuatan Tarik dan Mulur Perhelai

Kekuatan tarik perhelai serat merupakan kekuatatan yang besarnya sama dengan beban yang dapat ditahan oleh serat tersebut sampai putus. Nilai kekuatan tarik sangat perlu diketahui karena akan mempengaruhi produk yang akan dihasilkan. Semakin besar kekuatan serat maka akan semakin kuat benang dan benang yang dihasilkan. Mulur serat perhelai merupakan pertambahan panjang serat selama pengujian dinyatakan dalam persen.

Tabel 8. Kekuatan tarik perhelai limbah serat rami, serat rami, kapas, dan kapuk

Kekuatan tarik perhelai	Besaran rata-rata (g/tex)
Limbah serat rami	40,49
Serat rami	35,10
Kapas	22,70
Kapuk	15,8

Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa nilai rata-rata kakuatan tarik perhelai limbah serat rami sebesar 40,49 g/tex. Limbah serat rami memiliki kekuatan tarik perhelai yang lebih besar dibandingkan dengan serat rami 35,10 g/tex,¹⁹ kapas 22,70 g/tex, dan kapuk 15,8 g/tex.²⁰

Tabel 9. Mulur perhelai serat rami, serat rami, kapas, dan kapuk

Mulur perhelai	Besaran rata-rata (%)
Limbah serat rami	1,3
Serat rami	4,14
Kapas	8
Kapuk	3,8

Berdasarkan Tabel 9 diketahui bahwa nilai rata-rata mulur perhelai limbah serat rami sebesar 1,3%. Nilai rata-rata mulur limbah serat rami rendah dibandingkan dengan nilai mulur serat rami sebesar 4,14%,¹⁹ kapas sebesar 8%, dan kapuk sebesar 3,8%.²⁰ Hal ini menunjukkan bahwa limbah serat rami memiliki sifat elastis yang rendah apabila peruntukan serat sebagai benang maka akan menghasilkan benang yang kasar, semakin kecil tingkat mulur serat akan berakibat pada rendahnya mulur benang yang akan dihasilkannya.²²

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Penampang melintang dan membujur limbah serat rami masih sama dengan penampang melintang dan membujur serat rami. Nilai dari panjang serat sebesar 4,25 cm termasuk ke dalam serat *staple* panjang sama dengan serat rami dan memerlukan pemintalan khusus untuk mengolahnya menjadi benang. Kehalusan serat yang diperoleh limbah serat rami sebesar 2,98 denier dan termasuk serat yang kasar hal ini menguntungkan dari pada kapas yang memiliki nilai kehalusan jauh lebih kecil karena semakin kecil nilai kehalusan maka akan berpotensi sering terjadi putus benang pada saat proses pembuatan *roving* di mesin *roving/simplex* maupun saat pembuatan benang di mesin *ring spinning* atau *open end*. Kadar air pada limbah serat rami sebesar 2,08%. Hal ini menunjukkan bahwa limbah serat rami masih memiliki kemampuan menyerap air, namun apabila dibandingkan dengan serat kapas dan kapuk yang lebih tinggi kemampuan penyerapan airnya akan lebih nyaman ketika dipakai, tetapi memiliki kerugian juga berupa umur simpan yang lebih pendek, karena nilai kadar air serat akan bertambah dan memungkinkan terjadinya tumbuh jamur. Kekuatan tarik sebesar 40,49 g/tex dan proporsi mulur sebesar 1,3% pada limbah serat rami ini akan lebih cocok digunakan sebagai penguat untuk material komposit dan apabila peruntukan serat sebagai benang, maka akan menghasilkan benang yang kasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Roy, S., Lutfar, L. B. Bast fibre: Ramie. In R. M. Kozlowski (Ed.), *Handbook of Natural Fibres*. Volume 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. (47-55). *The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.* (2012).
- Kozlowski, R., Rawluk, M., Barriga-Bedoya, J. Ramie. In Franck R.R (Ed.), *Bast and Other Plant Fibres* (207-226). *The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.* (2005).
- Latif, W., Basit, A., Rehman, A., Ashraf, M., Iqbal, K., Baig, S. A. and Maqsood, S. Study of Mechanical and Comfort Properties of Modal with Cotton and Regenerated Fibers Blended Woven Fabrics, *Journal of Natural Fibers*. Taylor & Francis, pp. 1–10. (2018).
- Basit, A., Latif, W., Ashraf, M., Rehman, A., Iqbal, K., Maqsood, H. S., Jabbar, A. and Baig, S. A. ‘Comparison of Mechanical and Thermal Comfort Properties of Tencel Blended with Regenerated Fibers and Cotton Woven Fabrics’, *AUTEX Research Journal*, **19(1)**, pp. 80–85 (2019).
- Manian, A. P., Pham, T. and Bechtold, T. ‘Regenerated Cellulosic Fiber’, in *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*. Elsevier, pp. 329–343. (2018)
- Dewi, T. K., Dandy, dan Wahyu Akbar. Pengaruh Konsentrasi NaOH, Temperatur Pemasakan, dan Lama Pemasakan Pada Pembuatan Pulp dari Batang Rami dengan Proses Soda. *Jurnal Teknik Kimia*. No.2, Vol.17 (2010).
- Sancheti, S., Bafna, M., Kim, H., You, Y., Seo, S. Evaluation of Antidiabetic, Antihyperlipidemic and Antioxidant Effects of *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich., *Urticaceae, Roots Extract in Streptozotocin-induced Diabetic Rats*. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 21 (1) : 146-154. (2011)
- Chang, J.M., Huang, K.L., Yuan T.T.T., Lai, Y.K., & Hung L.M. The Anti- Hepatitis B Virus Activity of *Boehmeria nivea* Extract in HBV-viremia SCID Mice. *eCAM* 7 (2) : 189-195 (2010).
- Wei, J., Iin, L., Su, X., Qin, S., Xu, Q., Tang, Z., Deng, Y., Zhou, Y., & He, S. Anti-hepatitis B Virus Activity of *Boehmeria nivea* Leaf Extract in Human HepG2.2.15 Cells. *Bio-medical Reports*. **2:1** 147-151 (2014).
- Chen, Yongsheng, et al. 2014. Phytochemical Profiles and Antioxidant Activities in Six Species of Ramie Leaves. *Plos One*. Vol.9. **Issue 9** (2014)
- Sutejo, et al.. Kandungan Fitoestrogen Ekstrak Etanolik Akar Rami (*Boehmeria nivea* L. Gaud) Menurunkan Kadar Kolesterolo Tikus yang Diovariectomi. *NurseLine Journal*. Vol. 1 **No. 1** (2016)
- Sastrosupadi, A. Pengembangan Rami (*Boehmeria nivea* Gaud) di Indonesia. Monografi no.8. Ballitas. Malang, **60-67**.(2005)
- Sudiby, N., S. Mulyaningsih dan B. Santoso. Pengaruh Proporsi Limbah Daun Rami dalam Konsentrat Pakan Lengkap Terhadap Pertumbuhan Kambing. Puslitbang Perkebunan Bogor. *Prosiding Lokakarya Model Pengembangan Agribisnis Rami*, **72-79** (2007)
- Mussig, J., Karus, M., Franck, R.R. Bast and leaf fibre composite material. In Franck R.R (Ed.), *Bast and Other Plant Fibres*, The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd. **345-376** (2005).
- Kozlowski, R., Rawluk, M., Barriga-Bedoya, J. Ramie. In Franck R.R (Ed.), *Bast and Other Plant Fibres* The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd. **207-226** (2005).
- Franck, R.R, *Bast and Other Plant Fiber*, Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington, Cambridge England **CB1 6AH**, (2005).
- Marsyahyo, E., Jamasri, Rochardjo, H.S.B. dan Soekrisno. Preliminary investigation on bulletproof panels made from ramie fiber reinforced composites for NIJ Level II, IIA, and IV. *Journal of Industrial Textiles*, **39: 13- 26**. (2009).

18. Noerati, S. Teknologi Tekstil Bahan Ajar Pendidikan dan Latihan Profesi Guru. Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil (2013).
 19. Novarini, E., & Sukardan, M.D. Potensi serat rami (*Boehmeria Nivea S. Gaud*) sebagai bahan baku industri tekstil dan produk tekstil dan tekstil teknik. *Arena Tekstil*. Vol. 30 (2): **113-122**. (2015).
 20. Sukardan, M.D., Dikdik, Puri, Cahyadi & Eva. Karakteristik serat dari tanaman biduri (*Calotropis gigantea*) dan identifikasi kemungkinan pemanfaatannya sebagai serat tekstil. *Arena Tekstil*. Vol. 31 (2): **51-62** (2016).
 21. BSN (Badan Standardisasi Nasional). SNI 08-1111-1989 Cara uji kehalusan serat batang. BSN. Jakarta. (1989a)
 22. Saroso, B., & Darmono. Pascapanen, ginning dan klasifikasi mutu kapas. *Monograf Balittas*. Vol. 1 (7): **203-210** (2002).
 23. Perpres No. 38/2018, Permenristekdikti No. **38/2019**
-

POTENSI TANAMAN BIDURI (*Calotropis gigantea*) SERTA KEMUNGKINAN PEMANFAATANNYA DI BIDANG TEKSTIL, PANGAN, FARMASI, DAN LINGKUNGAN

THE POTENCY OF BIDURI PLANT (*Calotropis gigantea*) AS WELL AS THE POSSIBILITY OF ITS UTILIZATION IN THE FIELD OF TEXTILE, FOOD, PHARMACY, AND ENVIRONMENT

Arif Wibi Sana, M. Danny Sukardan

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung, Telp. (022)7276215/7271288
E-mail: arif.wibi@yahoo.co.id, sukardan@gmail.com

ABSTRAK

Bahan alami dan terbarukan merupakan kategori bahan baku yang makin diminati di tengah isu lingkungan dan pengembangan industri berkelanjutan. Salah satu keanekaragaman hayati berupa tanaman yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah tanaman biduri (*Calotropis gigantea*). Di Indonesia, tanaman biduri baru dikenal sebatas tanaman obat/herbal. Eksistensinya di bidang lain belum begitu populer sehingga pemanfaatannya masih belum optimal dan belum dibudidayakan secara masif. Dalam kajian ini, profil tanaman serta kemungkinan aplikasinya di bidang tekstil, komposit, pangan, farmasi, dan lingkungan dijelaskan secara ringkas dan komprehensif. Bidang tekstil difokuskan pada tekstil fungsional dan tekstil teknik meliputi pemanfaatan sebagai bahan baku benang, insulator panas, bahan pengapung, penyerap suara, penyerap minyak, bahan perekat, dan bahan penguat komposit. Di bidang pangan dan farmasi meliputi pemanfaatan getah biduri sebagai enzim, anti bakteri, dan bahan baku obat, sedangkan bidang lingkungan pemanfaatannya difokuskan pada fungsi tanaman sebagai penahan abrasi dan penyerap logam berat (fitoremediator).

Kata kunci: biduri, *calotropis gigantea*, tekstil, pangan, farmasi, lingkungan

ABSTRACT

*Natural and renewable materials are a category of raw materials that are increasingly in demand amid environmental issues and sustainable industrial development. One of the biodiversity in the form of plants that have great potential to be developed is the biduri plant (*Calotropis gigantea*). In Indonesia, the biduri plant is only known as medicinal/herbal plants. Its existence in other fields is not so popular that its utilization is still not optimal and has not been massively cultivated. In this study, the profiles of plant and their possible applications in the fields of textiles, composites, food, pharmaceuticals, ornamental plants, and the environment are explained briefly and comprehensively. The textile sector is focused on functional textiles and technical textiles including the use as raw material for yarn, heat insulation, floatation materials, sound absorbers, oil absorbers, adhesives, and composite reinforcing materials. In the field of food and pharmacy, it includes the use of biduri sap as an enzyme, anti-bacterial, and raw material for medicine, while in the environmental sector, its utilization is focused on the function of plants as abrasion inhibitors and heavy metal absorber (phytoremediator).*

Keywords: biduri, *calotropis gigantea*, textile, food, pharmacy, environment

PENDAHULUAN

Bahan alami masih menjadi topik menarik dengan keunggulannya yang bersifat terbarukan, ramah lingkungan, dan mudah terurai. Meskipun perkembangan teknologi pembuatan bahan sintetis semakin pesat, bahan alami tetap menjadi kategori bahan baku yang diminati di tengah isu lingkungan dan pengembangan industri berkelanjutan. Bila ditelisik lebih jauh, pemanfaatan kekayaan alam lokal yang melimpah dapat menjadi salah satu strategi dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan impor. Salah satu keanekaragaman hayati di Indonesia berupa tanaman yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah tanaman biduri (*Calotropis gigantea*). Tanaman tersebut belum begitu populer sehingga pemanfaatannya masih belum optimal dan belum dibudidayakan secara masif.

Tanaman biduri termasuk ke dalam famili *Apocynaceae*, subfamili *Asclepiadaceae*, genus *Calotropis*, dan spesies *gigantea*.^{1,2} Tanaman tersebut ditemukan di beberapa lokasi di Indonesia dengan nama yang berbeda-beda, seperti: rubik, biduri, lembega, rembega, dan rumbigo (Sumatera), babakoan, badori, biduri,

widuri, saduri, sidoguri, bidhuri, burigha (Jawa), manori, maduri (Bali), muduri, rembiga, kore, krokoh, kolonsusu, modo kapauk, modo kampauk (Nusa Tenggara), dan rambega (Sulawesi).³

Di negara lain, tanaman *Calotropis gigantea* dikenal dengan sebutan *giant milkweed*, *crown flower*, *shallow wort* (Asia dan Afrika), *madar/mudar* (India), dsb.⁴ Menurut karthik (2016) tanaman jenis *weed* didefinisikan sebagai tanaman sejenis gulma yang tumbuh liar atau tidak dengan sengaja dibudidayakan, tetapi keberadaannya tidak mengganggu aktifitas manusia. Bila dibandingkan dengan salah satu tanaman penghasil serat alam yang populer seperti kapas, tanaman ini memiliki beberapa kelebihan, diantaranya dapat tumbuh di area tanah yang kurang subur tanpa membutuhkan irigasi, dan pemupukan serta lebih tahan hama sehingga tidak membutuhkan pestisida. Tanaman biduri dapat tumbuh dengan mudah di berbagai kondisi tanah serta memiliki ketahanan terhadap kekeringan, salinitas, dan genangan air. Tanaman ini juga biasanya tumbuh lebih baik di area terbuka yang terpapar sinar matahari serta dapat berbunga dan berbuah di sepanjang tahun.⁵

Berdasarkan survey yang dilakukan oleh Tim Litbang Biduri BBT, tanaman biduri dapat ditemukan di beberapa lokasi di Indonesia seperti Takengon (Aceh), Bandung, Pamarican (Ciamis), Banjar, Cilacap, Pangandaran, Rancabuaya (Garut), Semarang, Solo, Yogyakarta, Jawa Timur, Bali, Lombok, dan Gorontalo. Prof. Witono, salah satu pakar tanaman biduri dari Universitas Jember memetakan sebaran tanaman biduri berdasarkan sampling terhadap 50% kabupaten di Jawa Timur, meliputi: Bojonegoro, Ponorogo, Pacitan, Tuban, Jombang, Kediri, Gresik, Pasuruan, Probolinggo, Situbondo, Bondowoso, banyuwangi, Jember, Lumajang, Sampang, dan Sumenep. Lahan dengan areal yang relatif luas ditemukan di Kabupaten Bojonegoro (25 Ha), Tuban (50 Ha), dan Jember (40 Ha) sedangkan di kabupaten lain hanya berkisar antara 2 hingga 15 Ha.³

Pada kajian sebelumnya, Sukmawati (2019) telah membahas potensi tanaman biduri dengan fokus pada aplikasi bahan tekstil dan medis.⁶ Dalam kajian ini, selain masih menyinggung kedua topik tersebut dari sisi yang lain, pembahasan akan diperluas pada profil tanaman biduri berdasarkan hasil observasi lapangan serta tambahan aplikasi di bidang pangan, farmasi, dan lingkungan. Bidang tekstil difokuskan pada tekstil fungsional dan tekstil teknik. Di bidang pangan dan farmasi meliputi pemanfaatan getah biduri sebagai enzim, anti bakteri, dan bahan baku obat, sedangkan bidang lingkungan pemanfaatannya difokuskan pada fungsi tanaman sebagai penahan abrasi dan penyerap logam berat (*fitoremediator*).

1. Profil Tanaman Biduri

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan oleh Tim Litbang Biduri BBT, tanaman biduri umumnya tumbuh dengan ketinggian 0,5 hingga 3 m di lahan kering atau pesisir pantai. Pada pengamatan yang dilakukan pada salah satu tanaman biduri yang tumbuh di halaman Balai Besar Tekstil, diperoleh informasi bahwa tanaman biduri termasuk jenis tanaman dengan akar serabut dengan morfologi batang berbentuk bulat dan buah berbentuk lonjong dengan ujung yang lancip. Di beberapa bagian tanaman seperti batang, daun, serta tangkai buah akan ditemukan getah berwarna putih bila dilakukan penyayatan atau pemetikan.

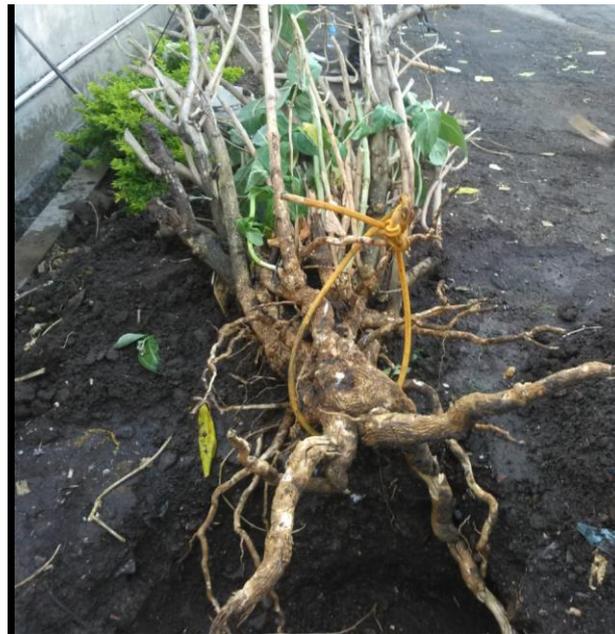


Gambar 1. Tanaman biduri yang tumbuh di halaman Balai Besar Tekstil

Untuk memperoleh informasi yang lebih mendalam, tanaman biduri digali hingga ke bagian akar sehingga diperoleh beberapa data hasil pengukuran, yaitu: ketinggian tanaman sekitar 280 cm, jarak akar terluar 260 cm, dan kedalaman akar 64 cm. Selain itu, dilakukan juga pengukuran diameter pada beberapa bagian tanaman dengan rincian perolehan data yaitu: batang bagian atas 6 cm, batang bagian bawah 20 cm, dahan atau batang baru (anak pohon) 3 hingga 6 cm, akar (ibu dan anak) bagian atas 40 cm, akar bagian bawah 18 cm, serta akar cabang 8 cm.



Gambar 2. Bunga, daun, dan buah tanaman biduri⁷

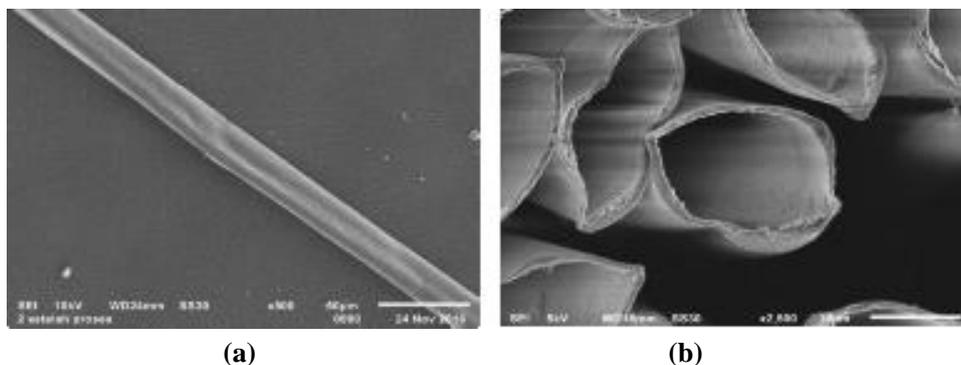


Gambar 3. Penampakan akar tanaman biduri yang telah digali

2. Karakteristik Serat dari Biji Buah

a. Morfologi serat

Serat yang diperoleh dari biji buah biduri (*floss*) memiliki morfologi yang khas dan unik. Bentuknya seratnya berongga (*hollow*) menyerupai pipa dengan dinding yang tipis serta permukaannya relatif halus dan rata. Serat ini memiliki kemiripan secara morfologi dengan serat kapuk. Morfologi berongga berimbas pada karakteristik densitasnya yang rendah dan bobotnya ringan. Lebih jauh, hal tersebut juga berkontribusi terhadap daya insulasi dan daya apung dari serat tersebut.



Gambar 4. Morfologi serat biji biduri: (a) membujur, (b) melintang⁸

b. Komposisi kimia

Sebagaimana serat alam pada umumnya, komposisi kimia pada serat *Calotropis gigantea* terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, abu dan ekstraktif. Perbandingan komposisi kimia antara serat *Calotropis gigantea* yang berasal dari batang dan biji buah (*floss*) dengan serat alam lainnya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan komposisi kimia serat alam

Komposisi Kimia (%)	<i>Calotropis gigantea</i> ⁹		Kapuk ⁸	Kapas ¹	Kenaf ¹⁰
	Batang	Biji buah			
Selulosa	57 ± 3,2	49 ± 1,1	72,86	94,0	79,0 ~ 83,0
Hemiselulosa	19 ± 1,9	20 ± 2,3	33,26	2,5	-
Lignin	18 ± 0,9	23 ± 0,6	15,84	0,0	14,0 ~ 17,0
Abu	2,5 ± 0,4	3,8 ± 0,4	1,74	1,2	2,2 ~ 6,0
Ekstraktif	12 ± 1,4	10 ± 0,9	-	0,0	-

c. Sifat fisika

Karakteristik fisika pada serat biji biduri pernah diteliti oleh Sukardan dkk. (2016). Hasil penelitiannya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik sifat fisika pada serat biduri dan pembandingnya⁸

Sifat serat	Jenis serat			Metoda Uji
	Biduri	Kapas	Kapuk	
Panjang serat/ <i>staple length</i> (inci)	1,25	0,97	0,63	
Kehalusan/ <i>Fineness</i> ; mikroner (µg/in)	2,02	2,74	2,02	
Indeks Kedewasaan / <i>Fiber maturity</i>	0,81	0,82	0,71	
Mulur/ <i>Elongation</i> (%)	3,9	8,3	3,8	
Kekuatan per berkas/ <i>Fiber strength</i> (g/tex)	37,8	22,7	15,8	<i>HVI Spectrum</i> (SNI 7881 : 2013)
Spinning Consistensi Index/SCI	219	136	73	
Indeks Keseragaman	84,0	78,2	74,4	
Indeks Serat Pendek	7,8	14,6	25,2	
Tingkat Kecerahan/Rd	60,8	63,5	57,2	
Tingkat Kekuningan/+b	19,6	10,2	12,7	
Kadar air, MC dan MR (%)	7,3 dan 7,9	8 dan 8,5	7,4 dan 8	SNI 08-0263-1989
Daya Serap Air (g/cm ³)	0,014	--	0,016	SNI 8100 : 2015
Daya Serap Minyak (g/cm ³)	0,822	--	0,860	<i>The Standard of Oil Sorbent</i> , Japan Maritime Safety Board
<i>Density</i> (g/cm ³)	0,872	1,55	0,29	SNI 08-0264-2015
Diameter luar serat (µm)	15 ~ 26	--	10 ~ 18	Mikroskopik (SEM)
Tebal dinding serat (µm)	0,8 ~ 2	--	0,6 ~ 1,3	Mikroskopik (SEM)
Volume rongga (%)	> 90	--	92,8 ~ 94	Mikroskopik (SEM)
Temperatur degradasi (°C)	> 160	290 ~ 330	--	<i>Thermal Gravimetry Analysis/TGA</i>

3. Aplikasi di Bidang Tekstil

a. Pemanfaatan serat biji untuk pembuatan benang

Dalam kajian yang telah dilakukan oleh Hassanzadeh & Hasani (2015), diperoleh suatu kesimpulan bahwa serat *milkweed* (*Calotropis gigantea*) sulit untuk dipintal karena seratnya bersifat kaku, licin, tidak punya efek *crimp*, mulurnya rendah, dan modulus inisialnya tinggi yang mengindikasikan serat ini sangat sesuai untuk keperluan tekstil teknik. Pada proses pemintalan di mesin *carding* akan timbul banyak *flying waste* karena rendahnya gaya kohesi antar serat dan bobotnya ringan. Meskipun demikian, serat *Calotropis gigantea* masih memiliki kandungan uap air (*moisture regain* dan *moisture content*) yang tinggi yaitu sekitar 8%. Bentuk morfologi yang berongga (*hollow*) mengindikasikan bahwa serat ini dapat dibuat produk pakaian yang nyaman (*comfort*).¹⁰ Dalam hasil penelitian yang dilakukan oleh Karthik (2014) serta Karthik & Murugan (2016) disebutkan bahwa serat *Calotropis gigantea* dapat dibuat menjadi benang dengan cara mencampurkannya dengan serat kapas.¹¹ Pernyataan tersebut juga diperkuat oleh hasil penelitian Zhao dkk. (2019) dimana

campuran serat kapas dan serat *Calotropis gigantea* yang telah diberi perlakuan dengan PTAA dapat dipintal menjadi benang menggunakan mesin *ring spinning* dengan sifat fisik seperti ditunjukkan pada tabel 3.¹²

Tabel 3. Sifat fisik benang campuran serat *Calotropis gigantea* - kapas¹²

Parameter	Value
Components	<i>C. gigantea</i> /cotton (30/70)
Yarn count/Ne	32
Twist	380
Breaking strength/cN	220.52 ± 28.47
Breaking tenacity/cN/tex	13.35 ± 1.56
Elongation at break/%	8.24 ± 0.64
Moisture regain/%	9.2 ± 1.4

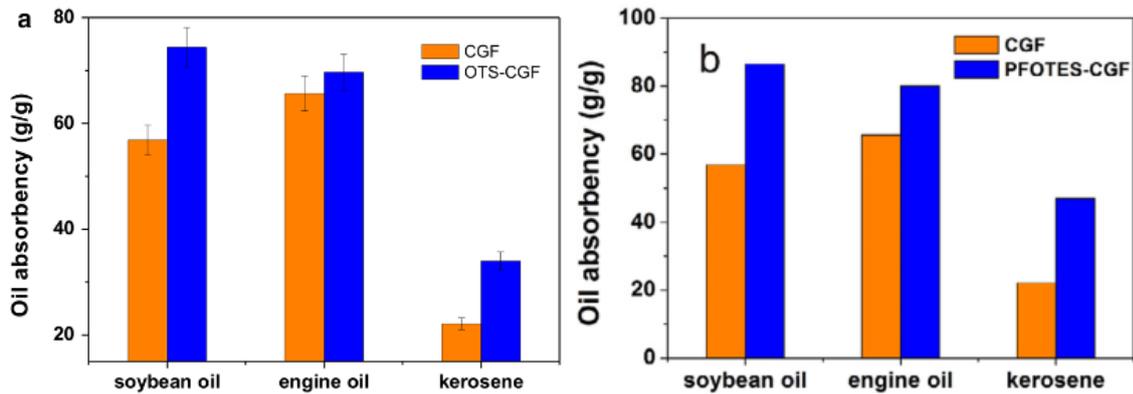
Percobaan pembuatan benang biduri juga telah dilakukan oleh Tim Litbang Biduri BBT bekerjasama dengan PT. Indo Liberty. Dalam percobaan tersebut dibuat benang yang terdiri dari campuran serat biduri-*micropolyester*, biduri-*thermolite*, dan biduri-*excel* dengan komposisi 50:50. Namun, hasil percobaan menunjukkan bahwa benang yang dihasilkan masih belum memuaskan dan belum memenuhi standar spesifikasi kekuatan dan kerataan yang ditetapkan dalam Standar Mutu Benang Ring Tunggal Kapas (SNI 08-0033-2006) sehingga dibutuhkan percobaan lanjutan dengan memvariasikan komposisi campuran, tahapan proses, dan *setting* parameter mesin.



Gambar 8. Salah satu *prototype* benang campuran dari serat biduri

b. Pemanfaatan serat dari biji buah sebagai penyerap minyak

Polusi yang disebabkan oleh tumpahan minyak di laut merupakan salah satu isu lingkungan yang menjadi perhatian. Penggunaan material alam penyerap (absorben) minyak dapat menjadi solusi yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan tanpa menimbulkan polusi lanjutan. Secara umum proses penyerapan minyak terjadi melalui 3 tahap: difusi molekul minyak ke dalam permukaan absorben, penjebakan dalam struktur bahan penyerap melalui gaya kapiler, dan aglomerasi tetesan minyak dalam pori dan struktur kasar absorben. Studi tentang pemanfaatan serat *Calotropis gigantea* sebagai penyerap minyak diantaranya dilakukan oleh Zheng dkk. (2016).^{13,14} Dalam penelitian tersebut, disimpulkan bahwa serat *Calotropis gigantea* memiliki sifat hidrofobik-oleofilik, daya apung yang baik, kapasitas daya serap minyak yang baik, serta dapat dipakai berulang kali pada proses pemisahan minyak dari air sehingga sangat berpotensi untuk digunakan sebagai material absorben minyak yang ramah lingkungan. Di tahun yang sama, Zheng dkk. melakukan penelitian lanjutan dengan melakukan proses silanisasi pada serat menggunakan oktadesil triklorosilan (OTS) dan perfluorooktiltetraetoksilsilan (PFOTES). Studi tersebut dilakukan dengan tujuan meningkatkan kapasitas penyerapan minyak melalui modifikasi struktur permukaan serat sehingga bersifat superhidrofobik dan superoleofilik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat *Calotropis gigantea* yang sudah dimodifikasi mampu meningkatkan efektifitas penyerapan minyak. Kapasitas penyerapan minyak serat *Calotropis gigantea* tanpa perlakuan hanya berkisar 22 hingga 58 kali lipat dari berat bahan serat tersebut, tetapi setelah diberi perlakuan dengan PFOTES, kemampuannya meningkat menjadi 47 hingga 87 kali lipat sedangkan dengan perlakuan OTS hanya 34 hingga 74 kali lipat.^{14,15}

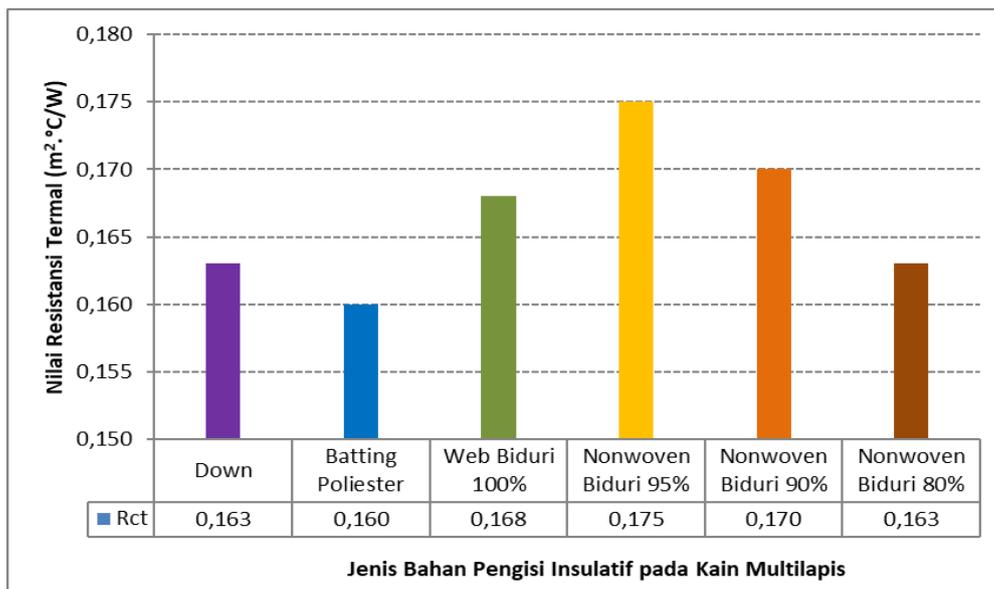


Gambar 5. Kemampuan penyerapan serat *Calotropis gigantea* (CGF) terhadap berbagai jenis minyak^{14,15}

c. Pemanfaatan serat biji sebagai bahan insulasi panas

Sistem insulasi panas merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas sehingga dapat meminimalisir kebocoran panas (*heat loss*). Bahan yang digunakan dalam sistem insulasi panas harus memiliki konduktivitas termal rendah. Sifat penting yang harus diperhatikan dalam memilih bahan insulasi adalah konduktivitas termal efektif dan densitas bahan.¹⁶ Selain itu, kemampuan dalam menjebak udara merupakan faktor utama yang dibutuhkan pada bahan insulasi.

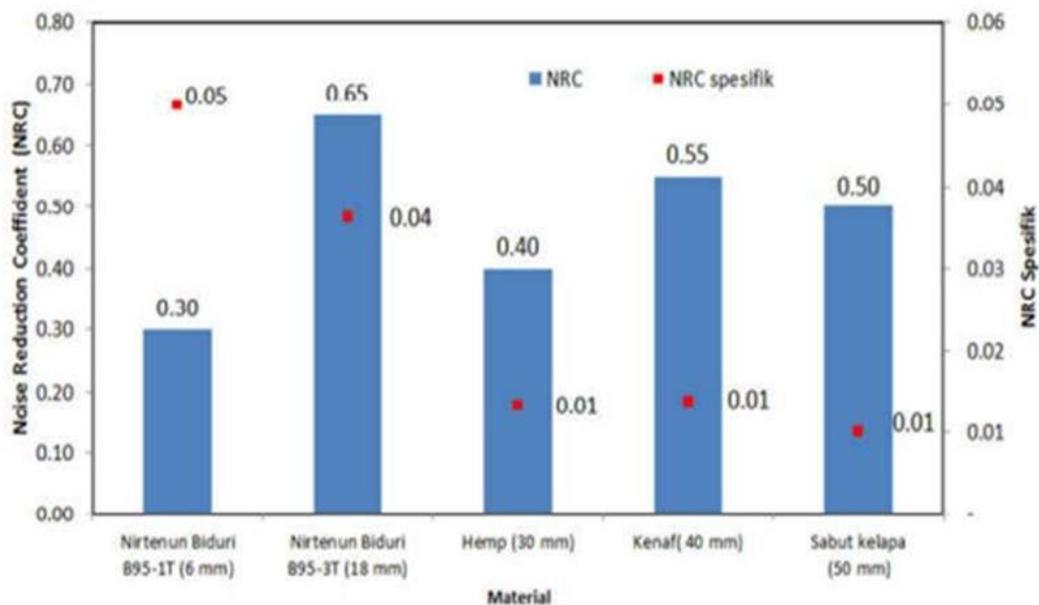
Penelitian yang mengkaji tentang bahan pengisi insulatif pada jaket sudah dilakukan oleh Crews dkk. (1991) dengan membandingkan 3 jenis bahan insulasi, yaitu serat *milkweed* (spesies *Asclepias syriaca* dan *Asclepias speciosa*), *down*, dan *batting* poliester yang menyimpulkan bahwa campuran serat *milkweed* dan *down* memiliki karakteristik insulasi yang sama dengan 100% *down*.¹⁷ Dalam skripsi yang dipublikasikan tahun 2018, Turnip melaporkan studi pembuatan kain *nonwoven* untuk isolator panas dari serat *Calotropis gigantea* dengan menggunakan metoda *hotpress* serta variasi komposisi serat biduri dan serat pengikat (*binder fiber*). Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah kain *nonwoven* yang terbuat dari komposisi campuran serat biduri 80% dan serat pengikat 20% memiliki nilai konduktivitas paling rendah dibanding komposisi lainnya.¹⁸ Potensi serat *Calotropis gigantea* sebagai bahan pengisi insulatif juga dilaporkan oleh Sana dkk. (2020). Dalam penelitian tersebut, serat biduri yang dibentuk menjadi *web* dan *nonwoven* difungsikan sebagai lapisan pengisi insulatif yang disisipkan di antara lapisan dalam (kain poliester) dan lapisan luar (kain nilon *water repellent*) sehingga terbentuk kain multilapis dengan susunan menyerupai bahan jaket musim dingin. Hasil penelitian pada gambar 6 menunjukkan bahwa kain multilapis berisi bahan insulasi biduri memiliki nilai resistansi termal lebih tinggi dibanding *down* dan *batting* poliester. Fenomena tersebut disebabkan oleh bentuk morfologi serat biduri yang berongga sehingga lebih banyak menjebak udara dan lebih efektif menahan aliran panas.⁷



Gambar 6. Perbandingan insulasi termal pada kain multilapis berinsulasi serat biduri dengan pembanding⁷

d. Pemanfaatan serat biji sebagai peredam suara

Studi tentang pemanfaatan serat alam berongga sebagai material akustik sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada umumnya metoda yang digunakan adalah membentuk serat menjadi *web* menggunakan mesin carding selanjutnya dibentuk menjadi *nonwoven* menggunakan mesin *needlepunch*. Hasil percobaan dievaluasi melalui pengukuran NAC (*noise absorption coefficient*). Zarrebini dkk. (2014) melaporkan bahwa *nonwoven* yang dibuat dari campuran serat milkweed dengan *hollow polyester* mampu menghasilkan penyerapan suara yang baik. Penyerapan maksimum diperoleh pada frekuensi 4000 Hz dengan komposisi serat milkweed 100%. Semakin banyak kandungan serat milkweed dalam campuran dan semakin banyak lapisan *nonwoven*, semakin tinggi tingkat penyerapan suaranya.¹⁹ Penelitian serupa juga dilaporkan oleh Ganesan dan Karthik (2015). Dengan menggunakan metoda yang sama, kedua peneliti tersebut membandingkan performa *nonwoven* yang terbuat dari campuran serat kapas dengan serat berongga, yaitu kapok dan *milkweed*. Studi tersebut menyimpulkan bahwa *nonwoven* yang dibuat menggunakan campuran *milkweed*-kapas menghasilkan potensi penyerapan suara yang paling tinggi. Semakin tinggi kandungan serat berongga, semakin tinggi pula tingkat penyerapan suaranya.²⁰ Lebih lanjut, dalam tesis yang dipublikasikan pada tahun 2019 Sukmawati melaporkan tentang penelitian pembuatan *nonwoven* dari serat biduri untuk aplikasi penyerap bunyi menggunakan mesin *cotton selector/trash analyzer* dan mesin *hotpress*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa *nonwoven* biduri sangat efektif menyerap bunyi pada frekuensi tinggi (2000-5000) Hz. Pada gambar 7 ditunjukkan bahwa nilai *noise reduction coefficient* (NRC) dan NRC spesifik pada *nonwoven* biduri ketebalan 3 lapis lebih tinggi dibanding hemp, kenaf, dan sabut kelapa.²¹



Gambar 7. Perbandingan NRC dan NRC spesifik *nonwoven* biduri dengan serat alam lain²¹

e. Pemanfaatan serat biji untuk bahan pengapung

Serat dari biji buah biduri (*Calotropis gigantea*) memiliki morfologi yang hampir sama dengan spesies lain pada keluarga tanaman *Asclepidaceae*. Menurut Kalayci (2015), *milkweed* merupakan tanaman yang memiliki kemampuan mengapung di atas air. Hal itu disebabkan oleh densitas *milkweed* yang rendah, yaitu sekitar 0,9 g/cm³.²²

Potensi serat biji biduri sebagai material pengapung (*buoyant material*) ditunjukkan oleh salah seorang praktisi industri yang menekuni serat biduri; Sol Sukmajati, pada acara Pameran Alutsista Tahun 2011 dan 2018 yang diselenggarakan oleh TNI Angkatan Darat. Dalam pameran tersebut diperlihatkan beberapa produk yang dapat digunakan oleh pasukan TNI-AD, diantaranya ransel apung dan kantong tidur apung TNI (gambar 9 dan 10) dengan memanfaatkan serat biduri sebagai bahan pengisi bagian dalam (*filler*). Produk yang diinisiasi berdasarkan kerjasama antara PT. Enerco Inter Selaras dan PT. Sritex Group tersebut mendapatkan apresiasi dari TNI-AD sehingga menjadikannya sebagai salah satu inovasi produk perlengkapan militer. Kini produk tersebut sedang dikembangkan ke arah varian produk lain seperti rompi pelampung.



Gambar 9. Ransel apung TNI



Gambar 10. Kantong tidur apung TNI

f. Pemanfaatan enzim protease untuk proses *degumming* dan *biopolishing*

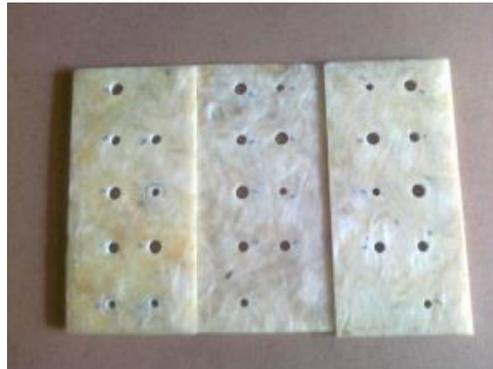
Enzim protease yang dihasilkan dari getah tanaman biduri dapat diaplikasikan pada bahan tekstil yang terbuat dari serat protein seperti sutera dan wol. Benang sutera mentah harus melalui proses *degumming* untuk menghilangkan serisin. Pada proses *degumming*, umumnya serisin dihilangkan dengan larutan alkali yang mengandung sabun. Namun dengan menggunakan enzim proteolitik spesifik seperti protease, serisin dapat dihilangkan tanpa merusak bagian fibroin. Pada aplikasi lain, enzim protease dapat digunakan dalam proses *bioblasting* atau *biopolishing* kain wol. Proses enzimatik tersebut dapat mengurangi terjadinya *facing up*, yaitu meningkatnya kekasaran pada permukaan kain wol sebagai akibat dari pengikisan saat proses pencelupan. Manfaat dari proses tersebut adalah pilling berkurang sehingga kelembutan dan kelangsaihan kain meningkat.²³

g. Pemanfaatan daun, bunga, dan batang tanaman biduri sebagai zat warna alam serta anti UV dan anti bakteri untuk bahan tekstil

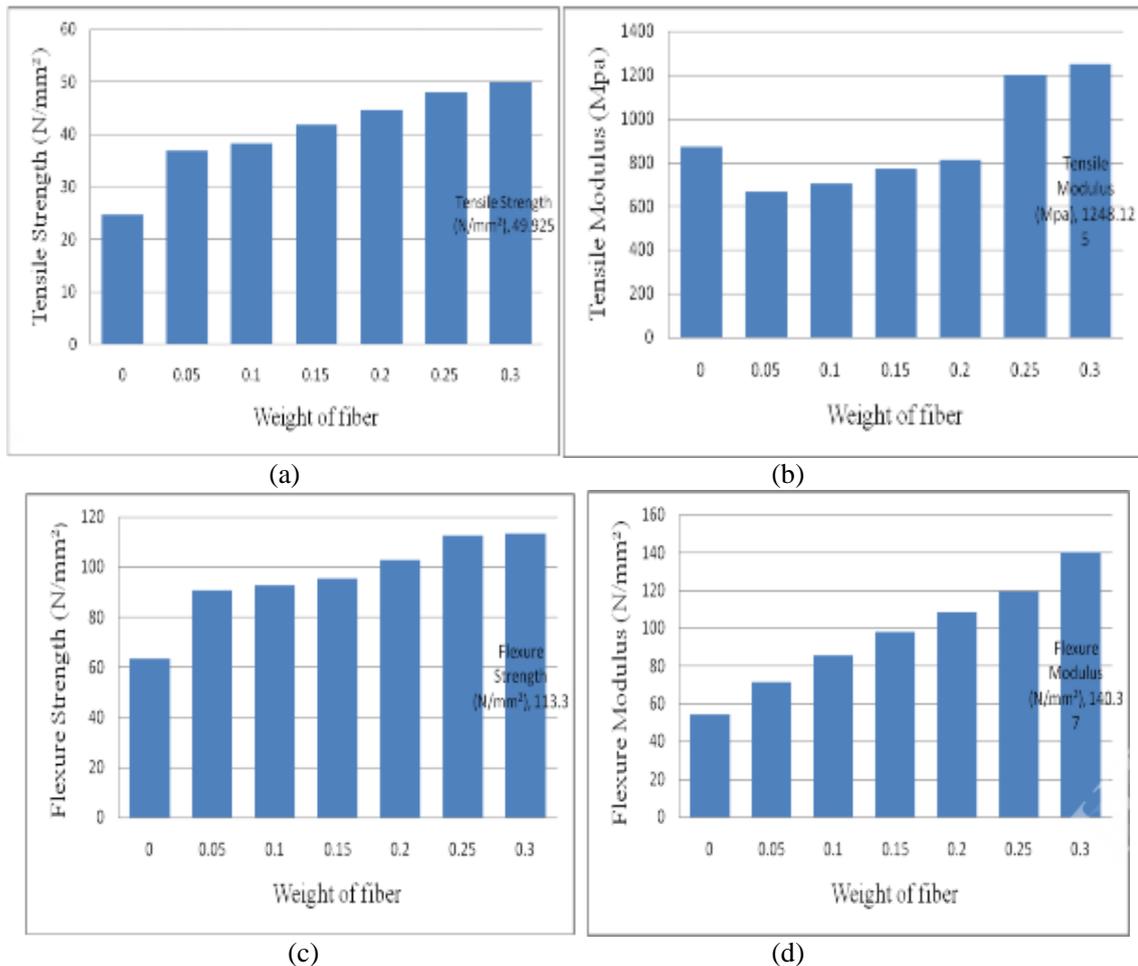
Studi yang dilakukan oleh Verma (2014) menunjukkan bahwa daun, bunga, dan batang tanaman biduri memiliki kandungan kimia seperti flavonoid, tanin, saponin, dsb.²⁴ Flavonoid pada tanaman umumnya dapat digunakan untuk mewarnai bahan tekstil terutama kain sutera. Dengan teknik *mordanting*, zat warna alam dari ekstrak daun, bunga, dan batang biduri kemungkinan besar dapat juga digunakan untuk mewarnai serat selulosa seperti kain kapas. Selain berfungsi sebagai zat warna alam, kandungan bioflavonoid pada tanaman biduri juga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai anti ultraviolet, anti oksidan, dan anti bakteri.²⁵

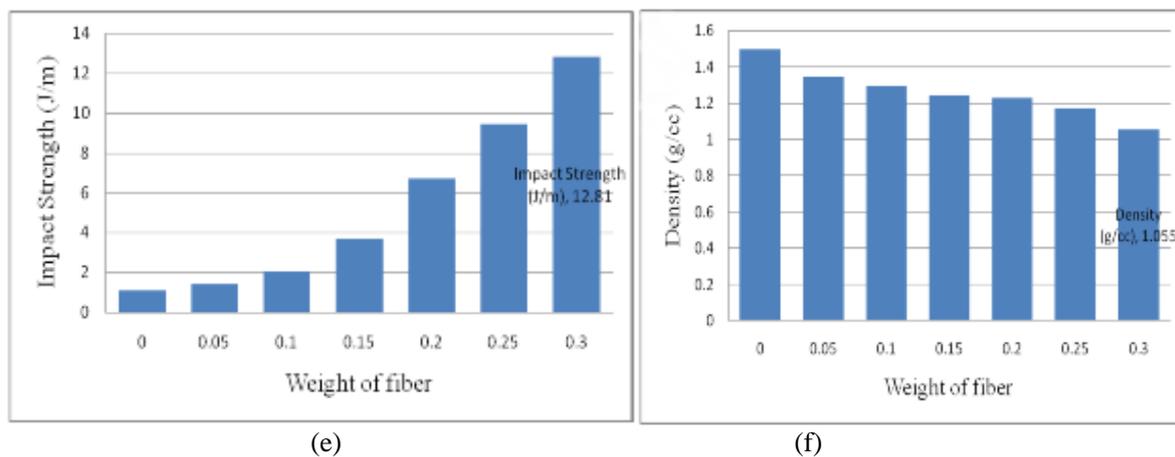
4. Aplikasi di Bidang Komposit

Sebagaimana serat alam lainnya yang diperoleh dari batang dan daun seperti rami, nanas, dan kenaf, serat *Calotropis gigantea* juga memiliki tingkat kesulitan sendiri saat diproses menjadi benang yang kualitasnya baik. Dari sekian banyak aplikasi serat alam pada pembuatan material, produk komposit merupakan opsi yang paling banyak dilakukan oleh peneliti. Hal tersebut disebabkan karakteristik serat alam cocok untuk dijadikan sebagai bahan penguat (*reinforcement*) pada komposit. Menurut Dilli Babu dkk. (2014), komposisi selulosa dari serat kulit batang lebih banyak dari pada serat biji, namun kandungan lignin serat kulit batang lebih rendah.²⁶ Material komposit yang mengandung serat *Calotropis gigantea* memiliki kekuatan tarik, modulus tarik, kekuatan tekuk, modulus tekuk, dan kekuatan benturan yang lebih tinggi daripada material komposit tanpa isian serat berbanding terbalik dengan densitasnya yang lebih rendah.²⁷ Pernyataan tersebut diperjelas dalam visualisasi data pada gambar 12.



Gambar 11. Bentuk komposit yang diperkuat serat biji *Calotropis gigantea*²⁷





Gambar 12. Sifat mekanik pada komposit yang diperkuat dengan serat biji biduri 0% ~ 0,3%: (a) kekuatan tarik, (b) modulus tarik, (c) kekuatan tekuk, (d) modulus tekuk, (e) kekuatan benturan, (f) densitas²⁷

Penelitian tentang komposit yang diperkuat oleh serat biji *milkweed* juga dilaporkan oleh Sayanjali Jasbi (2018) dengan kesimpulan bahwa *treatment* alkali (larutan NaOH) berpengaruh signifikan terhadap sifat kekuatan tarik pada komposit yang terbuat dari campuran serat *Calotropis gigantea* dan PVAc.²⁸ Selain itu, hasil studi pembuatan komposit dengan penguat serat batang tanaman *Calotropis gigantea* yang dilakukan oleh Muniyasami (2016) menunjukkan bahwa komposit yang dihasilkan memiliki kekuatan yang baik. Peningkatan kandungan serat secara bertahap mampu meningkatkan kekuatan tarik dan benturan serta tingkat kekerasan bahan (*hardness*).²⁹

5. Aplikasi di Bidang Pangan

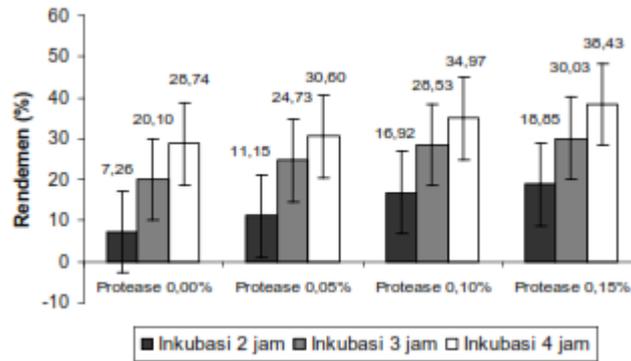
Menurut smith (1995), enzim protease yang diisolasi dari jaringan, baik dari mikroorganisme, jaringan hewan maupun tumbuhan sudah banyak dimanfaatkan untuk industri pangan diantaranya pada pembuatan roti, produksi keju, dan pengempuk daging. Enzim protease dapat dihasilkan dari getah tanaman biduri melalui proses pemotongan bagian pucuk tanaman.³ Meskipun enzim tersebut juga dapat diperoleh dari bagian daun dan batang, tetapi kandungan tertinggi diperoleh dari getah (Naif 2002). Metode ekstraksi enzim diperoleh melalui beberapa tahap, yaitu: penyadapan, penyaringan, pengenceran, ekstraksi, sentrifugasi, dialisis, dan pengeringan. Enzim protease tanaman biduri dapat diekstraksi dengan menggunakan pelarut organik seperti etanol, dietil eter, dan aseton. Selain cara pelarutan, proses ekstraksi juga dapat dilakukan dengan cara pengendapan (*salting out*) menggunakan ammonium sulfat dengan tingkat kejenuhan optimal 65%.³⁰ Untuk meningkatkan daya simpan, biasanya enzim protease dikeringkan dengan metode *freeze drying* selama 24 jam.



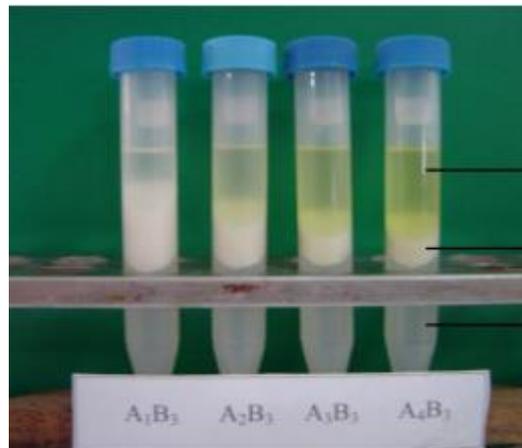
Gambar 13. Penyadapan getah tanaman biduri³

Studi yang dilakukan oleh Hardi, dkk. menyimpulkan bahwa enzim protease yang berasal dari getah biduri dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan cita rasa udang dan ikan teri bermutu tinggi.^{31,32} Pada penelitian lain, Murtini dan Komarudin melaporkan bahwa daging yang diberi perlakuan dengan enzim protease tanaman biduri sebanyak 0,5% lebih empuk dibanding daging yang tidak diberi perlakuan.³³ Selain

itu, hasil penelitian yang dilakukan oleh Witono dkk. (2007) menunjukkan bahwa enzim protease biduri dengan konsentrasi 0,05 ~ 0,15% dapat digunakan untuk ekstraksi minyak kelapa murni dengan waktu inkubasi sekitar 2 hingga 4 jam.³⁴



Gambar 14. Rendemen *virgin coconut oil* (VCO) yang dibuat dengan variasi konsentrasi protease biduri dan lama inkubasinya³⁴



Gambar 15. Fraksinasi hasil inkubasi santan kelapa dengan enzim protease biduri pada konsentrasi: 0% (A₁); 0,05% (A₂); 0,15% (A₃); 0,15% (A₄) dengan lama inkubasi 4 jam (B₃)³⁴

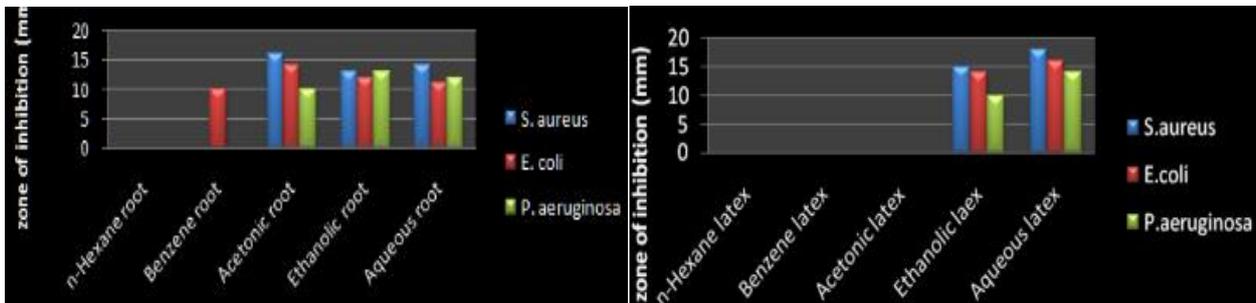
6. Aplikasi di Bidang Farmasi

Sejak dulu, biduri dikenal sebagai tanaman obat multikhasiat. Getah dari tanaman biduri mengandung enzim bakteriolitik, kalaktin glikosida yang sangat beracun, kalotropin DI, kalotropin DII, kalotropin FI, kalotropin FII, dan enzim proteolitik kalotropin yang menyerupai papain. Getah biduri berkhasiat sebagai pencahar, obat bisul, eksim, dan obat sakit gigi.³⁵ Pada penelitian lain, getah biduri dilaporkan dapat berfungsi sebagai penyembuh luka. Studi tersebut dilakukan menggunakan model luka *excision* dan *incision* yang diujicobakan pada tikus albino.³⁶ Hasil studi menunjukkan bahwa perlakuan *fix dose* getah tanaman *Calotropis gigantea* sebanyak 200 mg/kg berat badan per hari pada tikus mampu memberikan daya tutup luka sebesar 83,48% pada hari ke 16 sedangkan perlakuan hanya sebesar 76,22%.

Tabel 4. Pengaruh getah tanaman *Calotropis gigantea* terhadap sayatan luka pada tikus³⁶

Hari ke-	Area luka (mm ²)		
	Tanpa perlakuan	Dengan perlakuan Obat Standar (<i>Framycetin Sulphate Cream</i>)	Dengan perlakuan getah <i>Calotropis gigantea</i>
0	258,83 ± 10,362	226,67 ± 7,032	186,67 ± 9,545
4	255,00 ± 11,547	175,83 ± 5,833	153,33 ± 9,972
8	213,33 ± 9,098	145,83 ± 5,974	120,83 ± 8,604
16	68,33 ± 2,472	27,50 ± 2,141	30,83 ± 2,386

Verma (2014) menyimpulkan bahwa sifat antibakteri dapat ditemukan pada getah tanaman spesies *Calotropis procera* dan *Calotropis gigantea*. Dalam getah tersebut ditemukan juga kandungan tanin, saponin, flavonoid, terpenoid, dan glikosida *cardiac*.²⁴ Penelitian serupa juga dilakukan oleh Kori dan Alawa (2014) serta Ghosh dkk., (2014) yang menyatakan bahwa ekstrak akar dan getah tanaman *Calotropis gigantea* memiliki potensi sebagai zat anti bakteri dan obat alami untuk mengobati infeksi penyakit yang ditimbulkan oleh mikroorganisme.³⁷ Gambar 16 menunjukkan bahwa nilai zona hambat bakteri yang dihasilkan oleh ekstrak akar yang diekstraksi dengan pelarut benzena, aseton, etanol, dan air berkisar antara 10 hingga 16 mm sedangkan pada ekstrak getah yang diekstraksi dengan pelarut etanol dan air berkisar antara 10 hingga 18 mm.³⁸

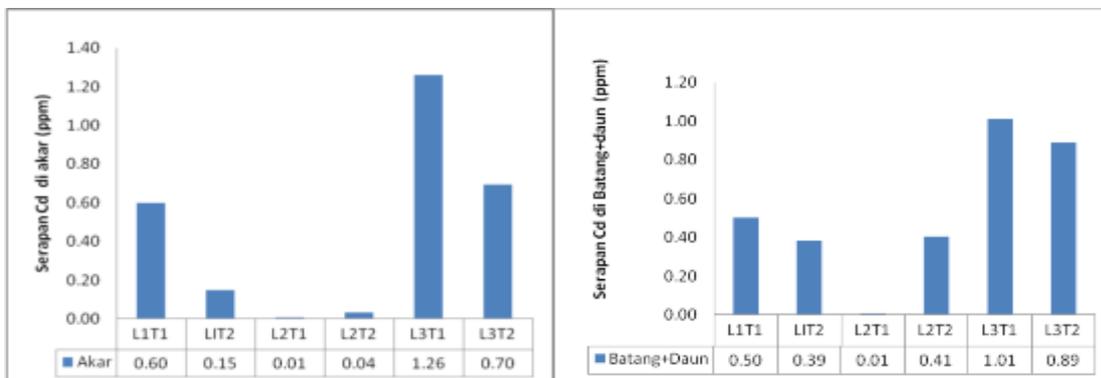


Gambar 16. Aktivitas antimikroba pada ekstrak akar (kiri) dan getah (kanan) tanaman *Calotropis gigantea*³⁸

Studi yang dilakukan oleh Habib, dkk. (2012) menunjukkan bahwa senyawa di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) yang diisolasi dari bunga tanaman *Calotropis gigantea* berpotensi sebagai zat anti tumor ketika diaplikasikan pada Ehrlich ascite carcinoma cells (EAC) dalam tikus albino Swiss.³⁹ Dalam kajian yang ditulis oleh Bairagi, dkk. (2018) diinformasikan bahwa *Calotropis gigantea* dan *Calotropis procera* memiliki sifat antioksidan, analgesik, anti inflamasi, anti diare, anti malaria, *hepaproductive*, anti tumor, antimikroba, dan anti *nociceptive*.⁴⁰ Selain getah, daun tanaman *Calotropis gigantea* juga dilaporkan memiliki potensi sebagai zat anti kanker fitofarmaka. Hal tersebut diungkapkan oleh Muti'ah, dkk. (2016) yang melakukan penelitian ekstraksi daun *Calotropis gigantea* menggunakan pelarut etanol.⁴¹

7. Aplikasi di Bidang Lingkungan

Pencemaran tanah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan. Menurut Wulandari, dkk. (2014), salah satu cara untuk menanggulangi permasalahan tersebut adalah melalui metode fitoremediasi, Metode ini merupakan upaya untuk mengurangi kerusakan tanah akibat tingginya akumulasi logam berat dengan memanfaatkan tanaman yang dapat menyerap logam berat. Studi tentang pemanfaatan tanaman biduri sebagai fitoremediator logam Cd dilaporkan oleh Hapsari dan Lestari (2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman biduri memiliki kemampuan menyerap logam berat sebesar 1,26 ppm pada bagian akar dan 1,01 ppm pada bagian atas tanaman. Tingkat reduksi logam berat pada tanaman biduri lebih tinggi dibanding rumput gajah dengan persentase hingga 64,7%.⁴²



Gambar 17. Serapan logam Cd pada akar, batang, dan daun tanaman biduri (T1) dan rumput gajah (T2)⁴²

Selain berpotensi sebagai penyerap logam berat, hasil survey yang dilakukan oleh vita (2015) menunjukkan bahwa tanaman biduri ditemukan sebagai salah satu vegetasi yang tumbuh di sepanjang pantai berpasir di Situs Samudera Pasai. Vegetasi tanaman pantai berperan dalam melindungi kawasan pantai dari

berbagai bencana seperti deburan ombak, angin, dan erosi pantai.⁴³ Hasil penelitian tersebut sejalan dengan Wahyuningsih, dkk. (2016) yang melaporkan bahwa tanaman biduri dapat dikategorikan sebagai tanaman *mangrove* asosiasi, yaitu tumbuhan tropis yang tumbuh di daerah pasang surut yang hidup tidak bersama tumbuhan *mangrove* sejati tetapi bersama tumbuhan darat. Tanaman biduri disebut sebagai salah satu bagian ekosistem dalam upaya mitigasi abrasi di pesisir selatan Kulonprogo. Mitigasi abrasi berbasis ekosistem alami seperti tanaman *mangrove* asosiasi lebih efektif dalam menahan laju gelombang laut.⁴⁴

KESIMPULAN

Tanaman biduri memiliki potensi yang sangat luas untuk dimanfaatkan di berbagai bidang. Setiap bagian tanaman berupa daun, buah, batang, dan akar memiliki nilai kemanfaatan yang beragam. Di bidang tekstil dan komposit, serat biji di dalam buah biduri dapat diaplikasikan sebagai bahan baku benang, insulator panas, peredam suara, bahan pengapung, penyerap minyak, dan penguat komposit. Bagian daun dan batangnya dapat dimanfaatkan sebagai zat warna alam dan anti UV sedangkan ekstrak getahnya dapat dimanfaatkan sebagai enzim dalam proses *degumming* dan *biopolishing* serat sutera dan wol. Di bidang pangan, enzim protease yang diekstrak dari getah dapat berfungsi sebagai penambah citarasa makanan, pengempuk daging, serta membantu dalam produksi roti dan keju. Di bidang medis dan farmasi, ekstrak akar dan getah dapat dimanfaatkan sebagai obat tradisional, antibakteri, anti kanker, anti tumor, anti oksidan, analgesik, anti inflamasi, anti diare, anti malaria, serta penyembuh luka sedangkan di bidang lingkungan, biduri dapat digunakan sebagai tanaman penyerap logam berat dan pencegah abrasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Karthik, T. & Murugan, R. Milkweed - A Potential Sustainable Natural Fibre Crop. in *Sustainable Fibres for Fashion Industry* vol. 2 111–146 (2016).
2. Sakthivel, J. C. & Mukhopadhyay, S. Some Studies on Mudar Fibers. *J. Ind. Text.* **35**, 63–76 (2005).
3. Witono, Y. *Enzim Biduri Agen Aktif Potensial Untuk Proses Pangan*. (Pustaka Radja, 2013).
4. Kanchan, T. & Atreya, A. *Calotropis gigantea*. *Wilderness Environ. Med.* **27**, 350–351 (2016).
5. Liu, L. Evaluation on a Promising Natural Cellulose Fiber- *Calotropis Gigantea* Fiber. *Trends Text. Eng. Fash. Technol.* **2**, 205–211 (2018).
6. Sukmawati, A. Tinjauan Potensi Biduri untuk Tesktil dan Medis. in *Prosiding Seminar Nasional Tekstil* 181–189 (Balai Besar Tekstil, 2019).
7. Sana, A. W., Noerati, N., Sugiyana, D. & Sukardan, M. D. Aplikasi Serat Alam biduri (*Calotropis gigantea*) sebagai Bahan Pengisi Insulatif pada Jaket Musim Dingin. *Arena Tekst.* **35**, 1–12 (2020).
8. Sukardan, M. D., Natawijaya, D., Prettyanti, P., Cahyadi & Novarini, E. Karakterisasi Serat dari Tanaman Biduri (*Calotropis gigantea*) dan Identifikasi Kemungkinan Pemanfaatannya sebagai Serat Tekstil. *Arena Tekst.* **31**, 51–62 (2016).
9. Ashori, A. & Bahreini, Z. Evaluation of *calotropis gigantea* as a promising raw material for fiber-reinforced composite. *J. Compos. Mater.* **43**, 1297–1304 (2009).
10. Hassanzadeh, S. & Hasani, H. A Review on Milkweed Fiber Properties as a High-Potential Raw Material in Textile Applications. *J. Ind. Text.* (2015) doi:10.1177/1528083715620398.
11. Karthik, T. Studies on the spinnability of milkweed fibre blends and its influence on ring compact and rotor yarn characteristics. (Anna University, 2014).
12. Zhao, Z. *et al.* Pre-treatment of *Calotropis gigantea* fibers with functional plasticizing and toughening auxiliary agents. *Text. Res. J.* (2019) doi:10.1177/0040517519826885.
13. Zheng, Y., Zhu, Y., Wang, A. & Hu, H. Potential of *Calotropis gigantea* fiber as an absorbent for removal of oil from water. *Ind. Crops Prod.* **83**, 387–390 (2016).
14. Zheng, Y., Cao, E., Tu, L., Wang, A. & Hu, H. A comparative study for oil-absorbing performance of octadecyltrichlorosilane treated *Calotropis gigantea* fiber and kapok fiber. *Cellulose* **24**, 989–1000 (2017).
15. Zheng, Y., Cao, E., Zhu, Y., Wang, A. & Hu, H. Perfluorosilane treated *Calotropis gigantea* fiber: Instant hydrophobic-oleophilic surface with efficient oil-absorbing performance. *Chem. Eng. J.* **295**, 477–483 (2016).
16. Kreith, F., Manglik, R. M. & Bohn, M. S. *Principles of Heat Transfer*. (2011).
17. Crews, P. C., Sievert, S. A., Woepfel, L. T. & Mccullough, E. A. Evaluation of Milkweed Floss as an Insulative Fill Material. *Text. Res. J.* **61**, 203–210 (1991).
18. Turnip, J. Studi Pembuatan Kain Nonwoven untuk Isolator Panas dari Serat Biduri (*Calotropis gigantea*). (Politeknik Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, 2018).
19. Zarrebini M, H. S. Evaluating the Acoustic Properties of Estabragh (Milkweed)/Hollow- Polyester Nonwovens vfor Automotive Applications. *J. Text. Sci. Eng.* **04**, (2013).
20. Ganesan, P. & Karthik, T. Development of acoustic nonwoven materials from kapok and milkweed fibres. *J. Text. Inst.* **107**, 477–482 (2016).
21. Sukmawati, A. Pembuatan dan Karakterisasi Nirtenun Serat Biduri (*Calotropis gigantea*) untuk Aplikasi Bahan Penyerap Bunyi. (Tesis Program Magister Ilmu dan Teknik Material, Institut Teknologi Bandung, 2018).
22. Ece KALAYCI, F. FIliz YILDIRIM, AVINC, O. O. & Arzu YAVAS. Textile fibers used in products floating

- on the water. in *Textile Science and Economy VIII* 85–90 (2015).
23. Aji Sutrisno. *Teknologi Enzim*. (UB Press, 2017).
 24. Verma, V. N. The Chemical Study of Calotropis. *Int. Lett. Chem. Phys. Astron.* **20**, 74–90 (2014).
 25. Nugraha, J. & Rakhmatiara, E. Y. Pemanfaatan Daun Rami sebagai Bahan Zat Warna Alam dan Fungsionalisasinya pada Pencelupan Kain Kapas dan Sutera. *Arena Tekst.* **35**, 29–38 (2020).
 26. Dilli Babu, G., Sivaji Babu, K. & Nanda Kishore, P. Tensile and wear behavior of calotropis gigantea fruit fiber reinforced polyester composites. *Procedia Eng.* **97**, 531–535 (2014).
 27. Chama Ajay Srinivas, G. D. B. Mechanical and Machining Characteristics of Calotropis Gigantea Fruit Fiber Reinforced Plastics. *Int. J. Eng. Res. Technol.* **2**, 1524–1530 (2013).
 28. Sayanjali Jasbi, M., Hasani, H., Zadhoush, A. & Safi, S. Effect of alkali treatment on mechanical properties of the green composites reinforced with milkweed fibers. *J. Text. Inst.* **109**, 24–31 (2018).
 29. Muniyasamy, S. Evaluation of Mechanical Properties of Calotropis Gigantea Stem Fiber-Reinforced Composite Material. in *Proceedings of 88th The IIER International Conference* 53–57 (2016).
 30. Witono Y, Am A, Subagio A, W. S. Purifikasi dan Karakterisasi Parsial Enzim Protease dari Getah Biduri (*Calotropis gigantea*). *J. Teknol. dan Ind. Pangan XVIII*, 7 (2007).
 31. Hardi, J. & Diharnaini, D. Penggunaan Protease dari Getah Biduri dalam Produksi Flavor Udang Windu (*Penaeus monodon*) [Utilization of Protease from Biduri Sap for Production Windu Shrimp Flavor (*Penaeus monodon*)]. *Online J. Nat. Sci.* **3**, 39–49 (2014).
 32. Elfian, Mappiratu & Razak, A. R. Penggunaan Enzim Protease Kasar Getah Biduri Untuk Produksi Cita Rasa Ikan Teri (*Stolephorus heterolobus*). *Kovalen* **3**, 122–133 (2017).
 33. Murtini, E. S. & Qomarudin. Pengempukan Daging dengan Enzim Proteasi Tanaman Biduri (*Calotropis gigantea*). *J. Teknol. dan Ind. Pangan XIV*, (2003).
 34. Witono, Y. & Subagio, A. Ekstraksi Virgin Coconut Oil secara Enzimatis Menggunakan Protease dari Tanaman Biduri. *AGRITECH* **27**, 100–106 (2007).
 35. Meilawaty, Z., Biomedik, B., Kedokteran, F. & Universitas, G. Jumlah limfosit pada model inflamasi setelah pemberian ekstrak getah biduri (.
 36. Road, M., Plant, H., Division, R. & Area, I. Wound healing activity of latex of. **1**, 176–181 (2009).
 37. Ghosh, A., Chakraverty, R. & Sarkar, S. *Calotropis Gigantea* Linn. - A Complete Basket Of Indian Traditional Medicine. *Int. J. Pharm. Res. Sci.* **7**, 1–17 (2014).
 38. Kori, P. & Alawa, P. Antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Calotropis gigantea* root, latex extracts. *IOSR J. Pharm.* **4**, 07–11 (2014).
 39. Habib, M. R. & Karim, M. R. Antitumour evaluation of di- (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) isolated from *Calotropis gigantea* L . flower. **62**, 607–615 (2012).
 40. Bairagi, S. M., Ghule, P. & Gilhotra, R. Pharmacology of Natural Products : An recent approach on *Calotropis gigantea* and *Calotropis procera* *Farmacología de productos naturales : un enfoque reciente en Calotropis gigantea y Calotropis procera. Ars Pharm.* **59**, 37–44 (2018).
 41. Muti, R., Griana, T. P., Ula, Q. N. & Andhyarto, Y. The Effect of *Calotropis gigantea* Leaves Extract on Fibrosarcoma Growth and Caspase 3 Expression . **8**, 167–171 (2016).
 42. Hapsari, R. . & Lestari, S. . Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanah Yang Tercemar dengan Tanaman Biduri (*Calotropis Gigantea*) dan Rumput Gajah (*Panicum Maximum*). *J. Hijau Cendekia* **2**, 9–14 (2017).
 43. Vita. Lingkungan Vegetasi Situs Pesisir Samudera Pasai: Perlindungan dan Pelestarian. *KALPATARU* **24**, 117–136 (2015).
 44. Wahyuningsih, D. S. *et al.* Efektivitas Upaya Mitigasi Abrasi Berbasis Ekosistem Di Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Pros. Semin. Nas. Kelaut.* 255–260 (2016).
-

POTENSI PEMANFAATAN PATEN KEDALUWARSA TERKAIT TEKNOLOGI MATERIAL UNTUK PENINGKATAN DAYA SAING INDUSTRI TEKSTIL

THE POTENTIAL OF EXPIRED PATENTS UTILIZATION IN MATERIAL TECHNOLOGY FOR ENHANCING TEXTILE INDUSTRY COMPETITIVENESS

Adityo Wicaksono

Gd. PDDI - LIPI Lt. 4, Jl. Jend. Gatot Subroto Kav. 10, Jakarta Selatan, (021) 5201602
Pusat Penelitian Kebijakan dan Manajemen Iptek dan Inovasi - LIPI
E-mail: a.wicaksono@uqconnect.edu.au

ABSTRAK

Industri hulu tekstil Indonesia saat ini mengalami banyak masalah kronis. Di sisi lain, banyak pihak mengatakan bahwa industri dan lembaga riset di Indonesia perlu terus melakukan kegiatan riset dan pengembangan untuk dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Namun pada kenyataannya proses riset membutuhkan pendanaan besar, memakan waktu lama, serta sangat jarang hasil dari riset tersebut dapat dikomersialkan oleh industri. Oleh karena itu, kajian ini memberikan alternatif perspektif dimana industri dan lembaga riset publik tidak perlu melakukan riset yang mahal dan lama; upaya riset dan pengembangan dapat dialihkan untuk melakukan proses penerapan paten kedaluwarsa yang masih memiliki kekuatan dan potensi nilai komersial yang tinggi. Kajian ini menggunakan pendekatan analisis paten dengan memanfaatkan basis data global dan software Innography. Secara teoritis, kajian ini memberikan kontribusi dengan menyediakan petunjuk arah dalam mengeksplor potensi paten kedaluwarsa potensial. Secara praktis digambarkan secara detail potensi paten kedaluwarsa terkait material tekstil. Saat ini terdapat 12308 paten material tekstil, 51996 paten kain tenun, 96370 paten benang yang telah kedaluwarsa. Jumlahnya pun akan terus bertambah kedepannya. Lebih lanjut dijelaskan pula kelas teknologi, yurisdiksi asal paten, pendaftar, dan tema-tema yang dominan dari hasil analisis.

Kata kunci: material, tekstil, paten kedaluwarsa, analisis paten, komersial.

ABSTRACT

Contemporarily, Indonesian upstream textile industries are suffering from chronic problems. Meanwhile, many entities conveyed that industries and public research institutes (PRIs) are necessary to conduct research and development (R&D) to solve those problems. Yet, in reality, the R&D process is costly, time-consuming, and the results are rarely able to be commercialized. Therefore, this study provides an alternative perspective which argues that industries and PRIs are unnecessary to conduct a costly and time-consuming R&D process; the R&D effort can be shifted to implement expired patents which possess substantial strength and significant commercial value. By employing a patent analysis on a global database and Innography software, this study provides an incremental theoretical contribution in building guidelines for exploring the potency of expired patents. Practically, a detail depiction of expired patent potency on textile material is provided. Currently, there are 12308 textile material patents, 51996 woven fabric patents, and 96370 yarn patents which already expired. The number is continuously increasing in the future. Furthermore, this study highlights the technology classes, source jurisdictions, applicants, and dominant themes from the analysis.

Keywords: material, textile, expired patent, paten analysis, commercial.

PENDAHULUAN

Industri tekstil Indonesia saat ini mengalami penurunan yang cukup signifikan. Pasar domestik tertekan oleh arus impor yang semakin deras, sedangkan pasar ekspor industri tekstil Indonesia terhimpit oleh persaingan dengan negara lain yang lebih dominan.¹ Situasi ini diperparah dengan kondisi pandemi Covid-19 yang menyebabkan anjloknya permintaan pasar akan pakaian dan produk tekstil yang dipasarkan melalui saluran offline (mall, pusat perbelanjaan, pusat tekstil). Sebelumnya, sejak 2017 industri tekstil Indonesia telah memiliki banyak masalah kronis antara lain neraca perdagangan yang negatif, nilai impor yang meningkat tajam, kemampuan industri hulu yang rendah, dan produktivitas yang terus menurun akibat mesin yang sudah tua.^{2,3,4} Industri hilir Indonesia kini sangat bergantung pada impor bahan baku (material) yang tidak mampu dipenuhi oleh industri dalam negeri. Kenaikan impor benang, serat sintetik, kain dan tekstil mencapai 45%, yang didominasi oleh produk asal China.⁵ Menghadapi situasi tersebut, pemerintah menerapkan *safeguard*

dengan menaikkan tarif bea masuk untuk beberapa kode *harmonized system* (HS) barang tekstil impor. Namun, hal ini merupakan solusi yang sifatnya sementara, untuk jangka panjang yang perlu dilakukan adalah meningkatkan kemampuan dan daya saing industri hulu tekstil, khususnya untuk produksi bahan baku atau material. Upaya tersebut tentu memerlukan dukungan dari lembaga riset dan universitas.

Disisi lain, banyak pihak menekankan bahwa diperlukan peningkatan upaya dan fasilitasi riset dan pengembangan, khususnya di bidang material tekstil. Prasetyo menyebutkan bahwa industri tekstil merupakan sektor unggulan Indonesia yang belum unggul, oleh karena itu diperlukan penerapan teknologi baru dan membangun riset serta pengembangan industri.⁶ Namun pada kenyataannya, riset dan pengembangan yang dilakukan institusi dalam negeri terkait material belum bisa memberikan solusi yang cepat bagi permasalahan mendasar di Industri hulu tersebut. Salah satu penyebabnya adalah proses riset dan pengembangan yang pada umumnya memakan biaya besar dan menghabiskan waktu lama. Sebagai contoh riset dalam konteks lain, yakni pengembangan obat-obatan baru yang sulit untuk dilakukan dalam waktu singkat dan dana terbatas.⁷ Terlebih lagi, hasil riset dan pengembangan yang dihasilkan hanya sedikit yang dapat diwujudkan menjadi paten dan mampu diaplikasikan secara massal di industri hulu tekstil. Jika ditelusuri dalam database Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual (DJKI) dengan menggunakan kata kunci “tekstil”, hanya 63 paten yang berasal dari Indonesia. Dari 63 paten tersebut, hanya 16 yang diberi (*granted*) dan 26 masih dalam proses. Melihat kondisi ini tentu diperlukan strategi baru dalam hal riset dan pengembangan untuk meningkatkan daya saing industri material tekstil dalam negeri.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan dalam situasi ini adalah dengan mengaplikasikan invensi atau paten global terkait material tekstil yang masa perlindungannya telah habis (kedaluwarsa). Paten kedaluwarsa yang berasal dari negara maju (seperti Amerika Serikat, Negara-negara di Eropa, dan China) belum tentu tidak berguna atau obsolet bagi industri di Indonesia. Pemanfaatan paten kedaluwarsa dapat memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan bagi industri. Studi yang dilakukan oleh Yugue *et al.* menyebutkan bahwa dengan bisnis model yang tepat, investasi untuk melakukan inovasi inkremental berbasis paten kedaluwarsa dapat berhasil memberikan profit bagi perusahaan.⁸ Studi tersebut memberikan contoh keberhasilan dalam pemanfaatan paten kedaluwarsa dalam konteks industri farmasi di Brasil. Dalam konteks pertanian, Hendrix *et al.* memberikan petunjuk terkait pemanfaatan paten *public domain* melalui *reverse engineering*.⁹ Kajian tersebut memberikan gambaran potensi paten tak terlindungi terkait pupuk organik yang jumlahnya cukup besar. Lebih lanjut, penelitian empiris yang menunjukkan keberhasilan pemanfaatan paten kedaluwarsa jumlahnya sangat sedikit; hal ini menunjukkan kurangnya minat para peneliti mengkaji fenomena ini. Jika melihat situasi yang dihadapi industri tekstil Indonesia saat ini, studi terkait pemanfaatan paten kedaluwarsa akan menjadi penting dan dapat memberikan implikasi praktis yang cukup signifikan bagi industri.

Keberhasilan yang disebutkan dalam penelitian terdahulu kemungkinan dapat diterapkan dalam konteks industri tekstil, namun perlu diteliti lebih lanjut. Oleh karena itu diperlukan kajian khusus untuk mengetahui lebih dalam potensi paten global kedaluwarsa pada industri tekstil. Secara garis besar kajian ini bertujuan untuk memetakan potensi paten terkait teknologi material tekstil di dunia dan siapa saja aktor utama terkait invensi-invensi tersebut. Studi ini juga memodifikasi metode analisis paten untuk penelusuran paten-paten kedaluwarsa dengan potensi yang tinggi. Dengan menggunakan pendekatan analisis paten dan software Innography, kajian ini menyediakan lima temuan, yakni (1) jumlah paten kedaluwarsa, (2) kelas paten kedaluwarsa yang dominan, (3) yurisdiksi asal negara pemberi paten terbanyak, (4) organisasi pendaftar paten terbanyak, dan (5) daftar paten yang memiliki kekuatan tertinggi. Temuan ini kemudian disintesis untuk dapat memberikan kontribusi teoretis dan implikasi praktis.

Artikel kajian ini disusun ke dalam lima bagian. Bagian pertama, pendahuluan berisi ulasan mengenai kondisi industri tekstil terkini, rumusan masalah, tujuan dan gambaran singkat mengenai kajian ini. Bagian kedua, tinjauan pustaka berisi cuplikan penelitian-penelitian terdahulu terkait pemanfaatan paten kedaluwarsa dan kesenjangan dalam literatur. Bagian ketiga merupakan penjabaran metode pelaksanaan kajian ini sesuai kaidah yang ada. Bagian keempat, hasil dan pembahasan menampilkan temuan penting dari hasil kajian ini. Bagian terakhir merupakan kesimpulan yang merangkum seluruh bagian dan memberikan penjabaran kontribusi teoritis penelitian ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait pemanfaatan paten kedaluwarsa saat ini jumlahnya masih sedikit. Para peneliti lebih banyak melihat kedepan dengan memperbaiki teknologi yang telah ada. Namun dalam konteks negara berkembang, memanfaatkan invensi yang tidak terlindungi atau habis masa perlindungannya menjadi alternatif solusi bagi permasalahan industri yang secara teknologi jauh tertinggal oleh negara maju. Walaupun sedikit, tapi masih terdapat bukti bahwa upaya pemanfaatan paten kedaluwarsa dapat dilaksanakan dan berhasil memberikan manfaat ekonomi.^{8,9,10} Sebuah studi di Amerika Serikat menyebutkan bahwa saat paten habis masa perlindungannya, harga produk terkait paten tersebut akan turun karena persaingan yang semakin

meningkat dan perusahaan tidak lagi bisa memonopoli invensi.¹¹ Walaupun mengalami penurunan harga Lichtenberg dan Duflos menjelaskan bahwa permintaan terhadap produk dapat dipertahankan dengan aktivitas pemasaran, atau dibiarkan agar permintaan menurun karena tidak lagi menjadi prioritas pemilik paten. Disaat inilah perusahaan yang tidak memiliki kemampuan riset dan pengembangan akan diuntungkan walaupun harus bersaing secara ketat.

Dalam konteks industri farmasi, hal ini terjadi saat mulai dipasarkannya komoditas obat generik. Produksi dan pemasaran obat generik sangat cocok untuk perusahaan dengan strategi biaya rendah dan memiliki jaringan distribusi yang cukup kuat.¹⁰ Tetapi, untuk mampu memanfaatkan paten kedaluwarsa untuk obat generik perusahaan memerlukan kemampuan dasar untuk melakukan *reverse engineering* dan mengadaptasikannya kedalam proses produksi.¹² Kelebihan dari proses ini adalah tidak memakan biaya besar (khususnya dalam hal riset dan pengembangan) dan resiko kegagalannya cukup rendah.¹³ Akan tetapi, terdapat resiko jangka panjang berupa tekanan untuk pengurangan harga secara terus-menerus.¹⁴ Pemanfaatan paten kedaluwarsa di bidang farmasi cukup menarik dimana terjadi perubahan signifikan pada pasar, dari monopoli oleh perusahaan pionir menjadi oligopoli oleh banyak perusahaan.¹⁵ Nequis dan Villalobos menjelaskan bahwa strategi yang banyak digunakan perusahaan adalah strategi variasi harga, dosis, dan *branding* untuk meningkatkan prestise produk.¹⁵ Sedangkan strategi yang dapat diterapkan oleh perusahaan pemilik paten adalah meluncurkan produk generik lebih awal dari pesaing, inovasi berlapis, dan membangun ekstensi aplikasi paten dalam hal yang berbeda.¹⁶ Strategi ini dapat diterapkan pada industri yang bergantung pada inovasi, seperti industri farmasi, semi-konduktor, dan perangkat lunak. Namun, sederetan studi tersebut dilakukan dalam ruang lingkup hanya dalam sebuah negara tidak antar negara. Kondisi ini tentu akan jauh berbeda jika dibandingkan pemanfaatan paten kedaluwarsa antar negara dari negara maju yang dimanfaatkan di negara berkembang.

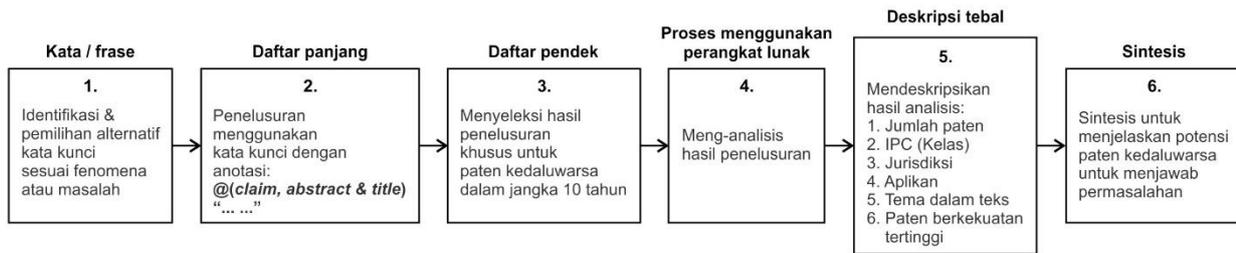
Pemanfaatan paten kedaluwarsa dalam bidang material tekstil di Indonesia belum banyak dilakukan oleh lembaga riset publik dan industri, karena keengganan akibat bayang-bayang resiko litigasi hukum, dan kurangnya pengetahuan mengenai metode penggalian potensi paten kedaluwarsa. Walaupun secara internasional berlaku prinsip perlindungan kekayaan intelektual yang habis masa perlindungannya dapat digunakan oleh semua pihak, namun terdapat kecenderungan keengganan menggunakan akibat bayang-bayang resiko litigasi yang sebelumnya ada pada saat masa perlindungan.¹⁷ Padahal, tindakan menuntut royalti setelah habis masa berlaku paten adalah tindakan melanggar hukum.¹⁸

Sangat sedikit lembaga riset dan industri yang menggunakan metode penggalian informasi paten atau analisis paten untuk memanfaatkan paten kedaluwarsa. Analisis paten umumnya digunakan untuk melakukan investigasi kompetisi teknologi, evaluasi perusahaan baru, serta mengatur riset dan pengembangan.¹⁹ Jadi, metode tersebut lebih banyak digunakan untuk melihat tren kedepan dibanding melihat paten yang telah kedaluwarsa. Jika dilihat secara keseluruhan, terdapat kesenjangan yang cukup besar pada literatur. Kesenjangan tersebut antara lain dalam hal pengembangan metode dan studi empiris terkait penggalian dan pemanfaatan potensi paten kedaluwarsa. Oleh karena itu kajian ini sangat diperlukan untuk mengisi kesenjangan yang ada.

METODE

Kajian ini menggunakan metode analisis paten yang mengulas pola-pola atau tema-tema yang muncul dari jutaan dokumen paten. Analisis paten sudah lama dikenal manfaatnya oleh para ilmuwan, yakni untuk menganalisa kompetisi teknologi dan melihat kondisi pasar di luar negeri untuk keperluan ekspansi.²⁰⁻²² Metode ini merupakan salah satu metode yang cukup tepat untuk menganalisa potensi paten kedaluwarsa di bidang material tekstil. Adapun untuk menghasilkan analisis yang lebih komprehensif dan akurat, kajian ini memanfaatkan *software* Innography. Ketepatan analisis sangat bergantung pada penggunaan kata kunci dan pemilihan taksonomi serta anotasi pada dokumen paten.

Secara mendasar analisis paten dilaksanakan dalam tiga tahap, yakni (1) penelusuran menggunakan kata kunci sesuai fenomena atau topik penelitian, (2) analisis dokumen hasil penelusuran, dan (3) mendeskripsikan pola-pola yang muncul dari analisis. Untuk lebih dapat menggali potensi paten kedaluwarsa yang dapat menjawab permasalahan industri, maka kajian ini memodifikasi metode yang sudah ada menjadi lebih terinci agar mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Modifikasi metode analisis paten diilustrasikan pada Gambar 1. Metode analisis paten termodifikasi menjadi lebih terinci dengan penambahan tahap penyaringan dari daftar panjang menjadi daftar pendek, dan proses sintesis dari deskripsi tebal.



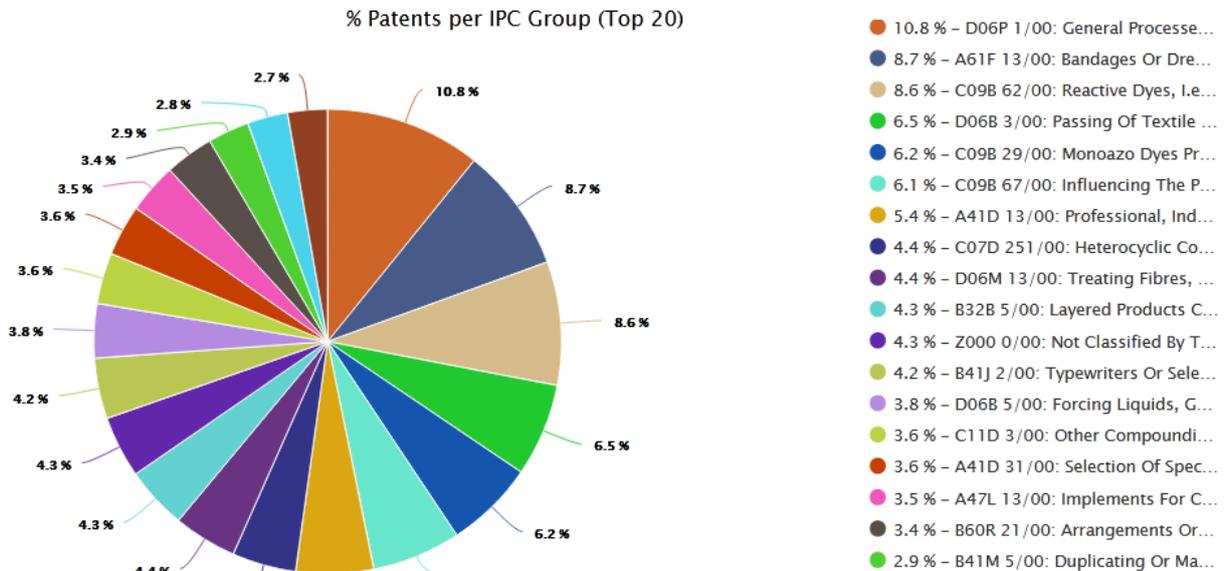
Gambar 1. Modifikasi metode analisis paten untuk penggalian potensi paten kedaluwarsa.

Karena penelusuran dilakukan terhadap paten dalam lingkup internasional, maka kata kunci yang digunakan dalam Bahasa Inggris. Adapun kata dan frase yang dipilih sesuai fenomena dan permasalahan penelitian ini adalah: (1) “*textile material*”, (2) “*woven fabric*”, dan (3) “*yarn*”. Penelusuran dilakukan pada tanggal 17 Oktober 2020 secara satu per satu untuk tiap kata kunci. Proses penginputan kata kunci dilengkapi dengan anotasi *@(claim, abstract and title)*. Hal ini bertujuan agar didapatkan daftar paten yang memiliki relevansi yang tinggi dengan kata kunci terutama pada bagian klaim, abstrak, dan judul paten. Jangka waktu pendaftaran paten diatur untuk tahun 1990 hingga 2000. Hasil dari proses penelusuran akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Paten Material Tekstil

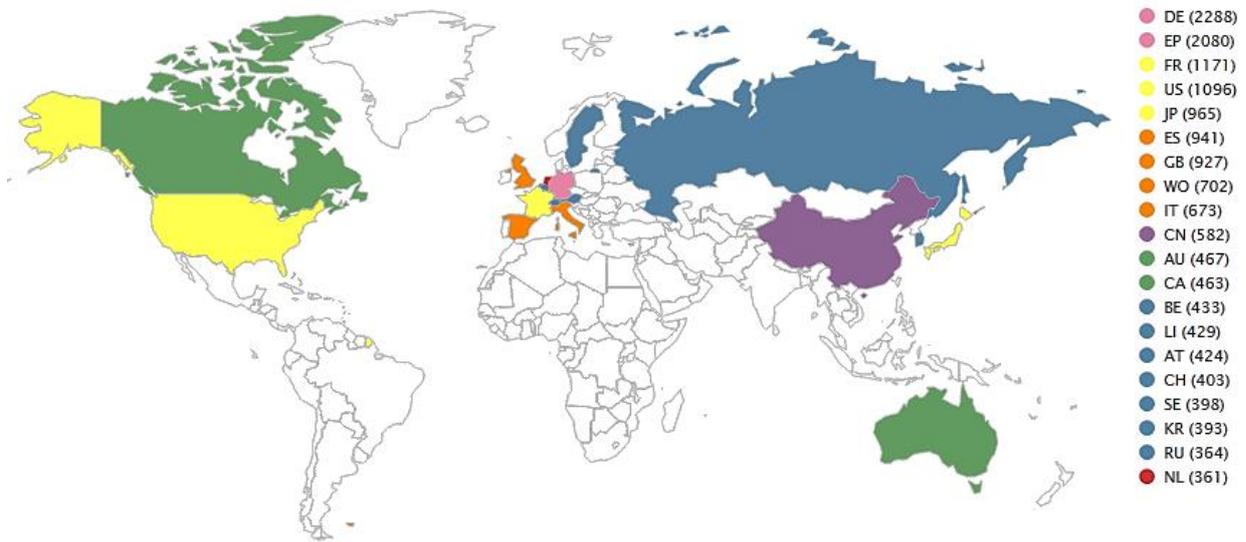
Dengan menggunakan kata kunci “*textile material*”, diperoleh daftar paten kedaluwarsa sebanyak 12308 paten. Jumlah paten yang akan kedaluwarsa untuk lima tahun mendatang adalah sebanyak 54 (2020), 174 (2021), 70 (2022), 91 (2023), dan 115 (2024). Angka ini menunjukkan bahwa dari segi jumlah, potensi paten kedaluwarsa dunia yang dapat dimanfaatkan cukup signifikan. Terlebih lagi jika dibandingkan dengan jumlah paten asal Indonesia. Jika dilihat dari kelasnya (lihat gambar 2), maka terdapat lima IPC yang paling dominan, yakni (1) D06P 1/00 proses pewarnaan atau pencetakan tekstil, (2) A61F 13/00 perban atau penutup, bantalan penyerap, (3) C09B 62/00 pewarna reaktif, (4) D06B 3/00 perlakuan untuk tekstil dengan dilewatkan melalui cairan atau uap, dan (5) C09B 29/00 pewarna *monoazo*. Kelas teknologi yang dominan menunjukkan trend teknologi yang dulu menjadi perhatian para inventor dan industri. Oleh karena hasil analisis ini dapat menjadi petunjuk awal untuk menggali lebih dalam paten kedaluwarsa potensial yang terdapat pada IPC dominan.



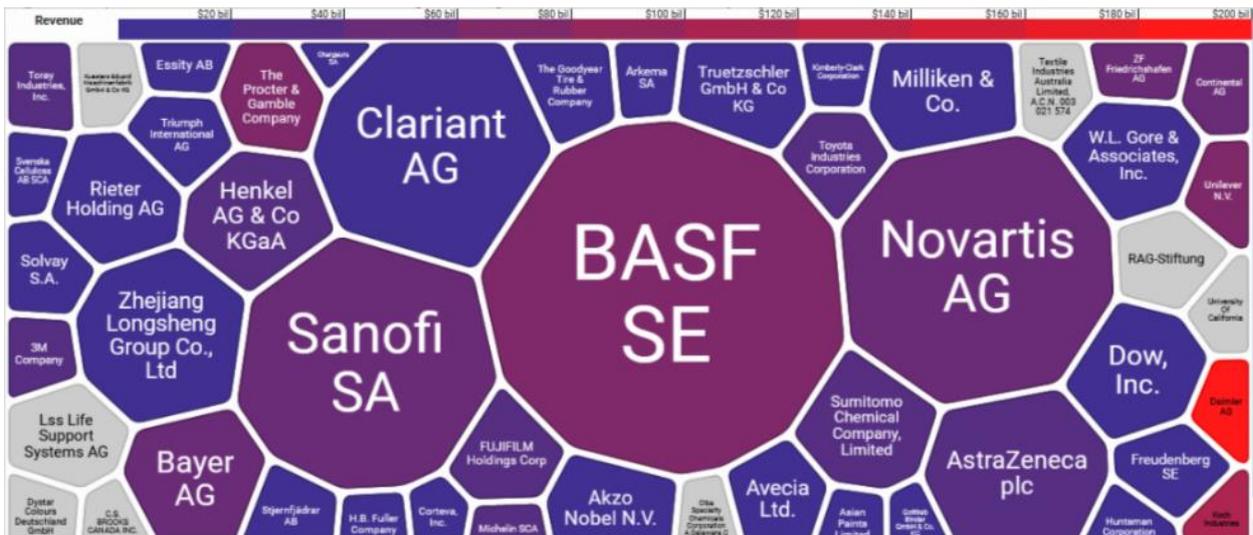
Gambar 2. Grafik IPC dominan terkait material tekstil.

Negara yang dominan menjadi penghasil paten material tekstil (lihat Gambar 3) adalah Jerman (2288 paten), Perancis (1171 paten), Amerika Serikat (1096 paten), dan Jepang (965 paten). Lebih lanjut, lima organisasi dominan yang menjadi aplikasi paten terbanyak (lihat gambar 4) adalah BASF (671 paten), Novartis

(401 paten), Sanofi (343 paten), Clariant (281 paten), dan AstraZeneca (174 paten). Negara dan organisasi dominan ini dapat dijadikan rujukan asal teknologi material tekstil berkualitas tinggi untuk diadopsi atau dimanfaatkan.

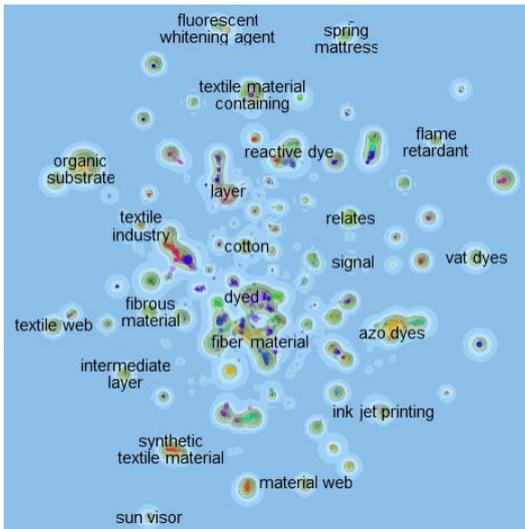


Gambar 3. Negara dominan penghasil paten material tekstil

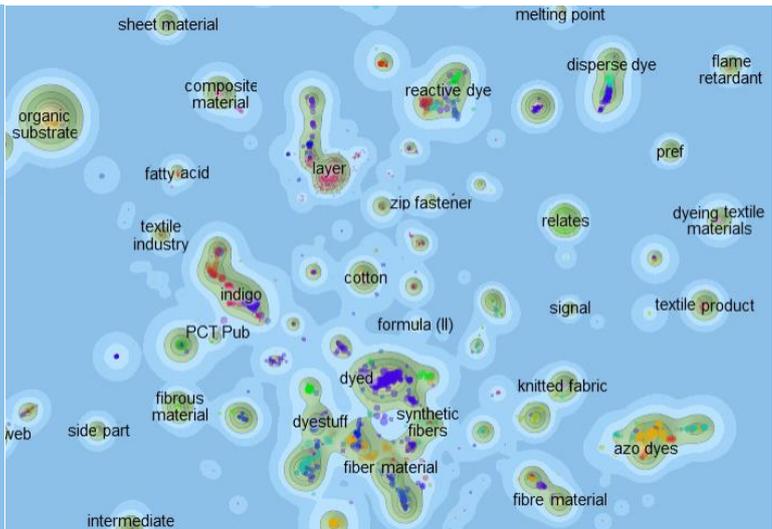


Gambar 4. Pemetaan organisasi pendaftar dominan paten material tekstil

Hasil analisa klusterisasi teks pada 12308 dokumen paten menunjukkan beberapa tema besar yang muncul (lihat Gambar 5 dan 6), yakni material serat (*fiber material*), pewarna (*dye*), material organik (*organic substrate*), dan material sintesis (*synthetic material*). Terdapat pula tema-tema kecil yang menarik untuk dieksplorasi, yakni material komposit (*composite material*), kain rajutan (*knitted fabric*), dan material tahan api (*flame retardant*). Tema besar dan tema kecil ini dapat dijadikan rujukan jenis teknologi yang potensial untuk diadopsi.



Gambar 5. Klaster teks terkait material tekstil



Gambar 6. Perbesaran gambar 5

Analisis dengan menggunakan perangkat lunak Innography mempunyai kelebihan yang dapat memperhitungkan kekuatan paten berdasarkan jumlah klaim, sitasi (*forward*), industri, reputasi inventor, dan litigasi. Hasilnya didapatkan 10 paten terkuat terkait material tekstil (lihat tabel 1), yakni: EP0942255 B1, DE19516957 C2, EP1707233 A2, US7005558 B1, EP0884312 B1, EP0880909 B1, US7244780 B1, US5237726 A, US6139868 A, EP0468921 B1. Daftar paten ini merupakan contoh paten kedaluwarsa yang berpotensi masih memiliki nilai manfaat dan ekonomis yang tinggi. Untuk pemanfaatannya tentu masih dibutuhkan pendalaman lebih lanjut oleh lembaga riset atau industri terkait.

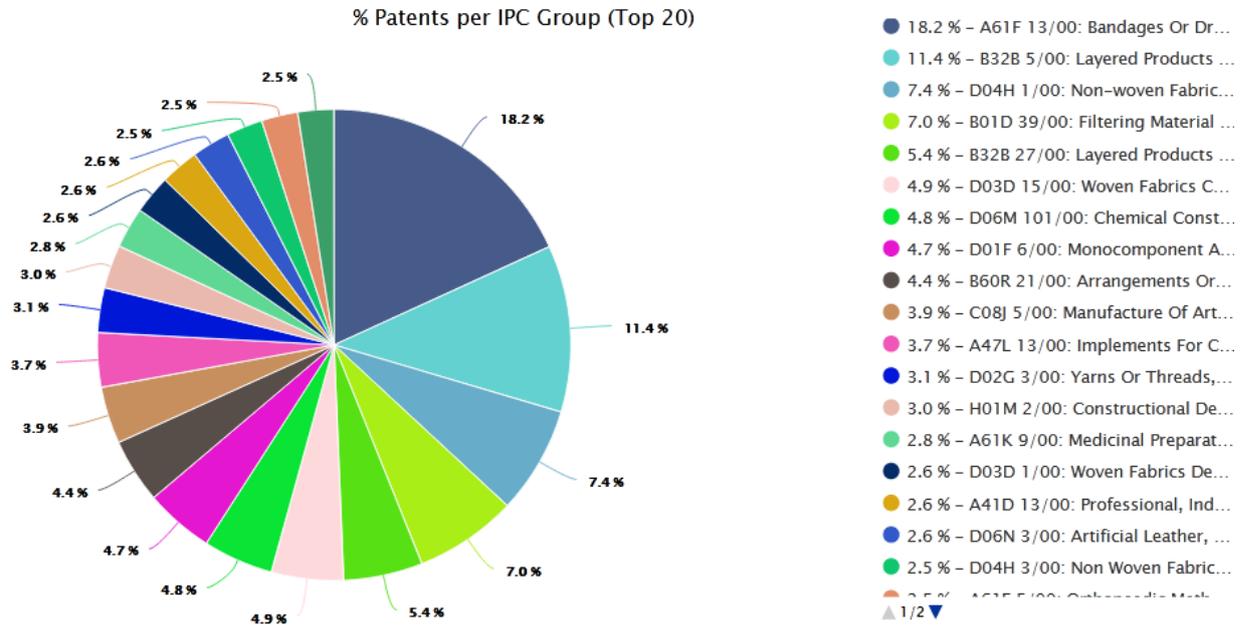
Tabel 1. Peringkat paten material tekstil kedaluwarsa berdasar kekuatan paten

No.	Nomor Paten	Judul	Pendaftar	Tanggal Pendaftaran	Kekuatan Paten
1.	EP0942255 B1	<i>Composite armor panel</i>	Mofet Etzion	10-03-1998	91
2.	DE19516957 C2	<i>Water-soluble copolymers and process for their preparation and their use</i>	Stockhausen	12-05-1995	91
3.	EP1707233 A2	<i>Apparatus for blocking flow through blood vessels</i>	Medtronic	31-01-1997	90
4.	US7005558 B1	<i>Apertured covering sheet for an absorbent article and a method of producing the covering sheet</i>	Sca Hygiene	02-09-1999	90
5.	EP0884312 B1	<i>Triazinylaminostillbene compounds</i>	BASF	14-05-1998	90
6.	EP0880909 B1	<i>Fusible interlining comprising high decitex filaments</i>	Lainiere De Picardie	19-05-1998	90
7.	US7244780 B1	<i>Powder coating compositions</i>	International Coatings	14-10-1999	90
8.	US5237726 A	<i>Method and apparatus for filling textile material into containers having an elongate cross section</i>	Maschinenfabrik Rieter	17-05-1991	90
9.	US6139868 A	<i>Transdermal therapeutic system, its use and production process</i>	Lts Lohmann	06-06-1995	90
10.	EP0468921 B1	<i>Aqueous dispersions of slightly soluble uv absorbing agents</i>	Ciba Specialty	15-07-1991	90

Hasil Analisis Paten Kain Tenun

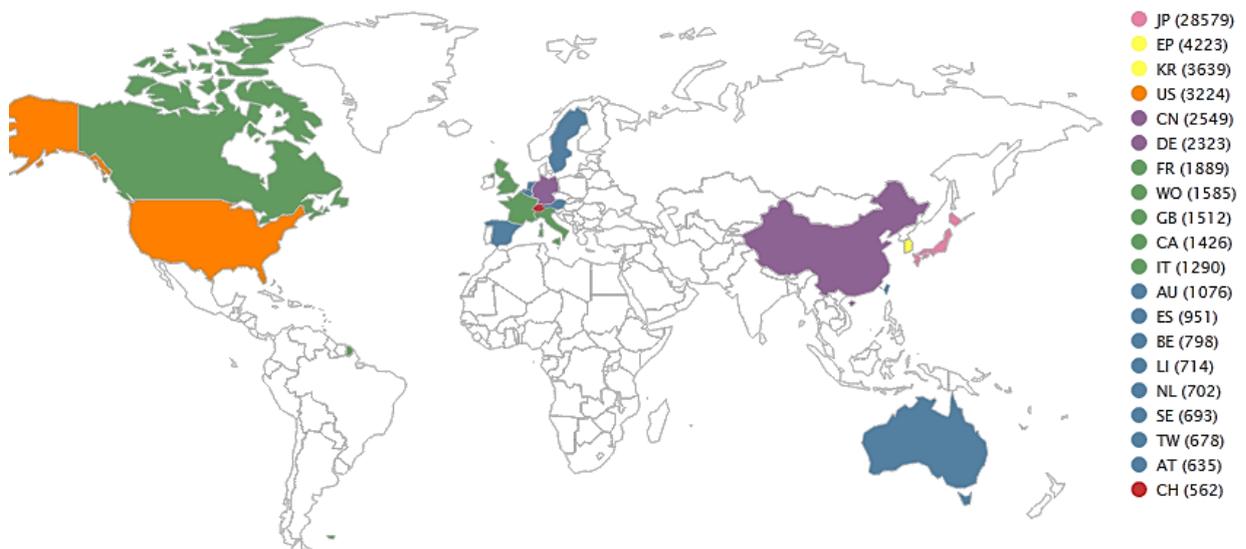
Hasil penelusuran dengan menggunakan kata kunci “woven fabric” didapatkan 51996 paten kedaluwarsa. Jumlah paten dari berbagai belahan dunia yang sangat banyak ini menunjukkan potensi yang cukup besar untuk dapat dimanfaatkan di Indonesia. Lima IPC yang paling dominan dari sekian banyak paten kain tenun (lihat Gambar 7) adalah (1) A61F 13/00 perban atau penutup, bantalan penyerap, (2) B32B 5/00

produk berlapis yang terkarakterisasi dari struktur non-homogen, (3) D04H 1/00 kain non-tenun yang terbentuk utuh atau utamanya dari serat tersambung, (4) B01D 39/00 material penyaring untuk cairan, dan B32B 27/00 produk berlapis yang terdiri dari resin sintetis.



Gambar 7. Grafik IPC dominan terkait kain tenun.

Negara yang menjadi penghasil paten kain tenun terbanyak (Gambar 8) antara lain adalah Jepang (28579 paten), Korea Selatan (3639 paten), Amerika Serikat (3224 paten), China (2549 paten), dan Jerman (2323 paten). Dalam hal kain tenun, Jepang sangat unggul dibandingkan negara lain, dengan jumlah paten kedaluwarsanya yang terbanyak di dunia. Lebih detail, terdapat lima organisasi yang paling dominan dalam mendaftarkan paten kain tenun (lihat gambar 9), antara lain Toray (1611 paten), Panasonic (851 paten), Toyobo (753 paten), Unitika (730 paten), dan Asahi (681 paten). Dalam visualisasi pemetaan ini perusahaan Jepang sangat banyak berperan dalam pengembangan teknologi kain tenun, terlihat dari dominasi kelima perusahaan di bidang ini.

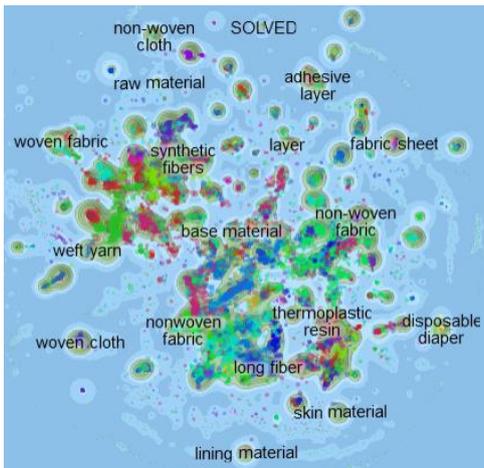


Gambar 8. Negara dominan penghasil paten kain tenun

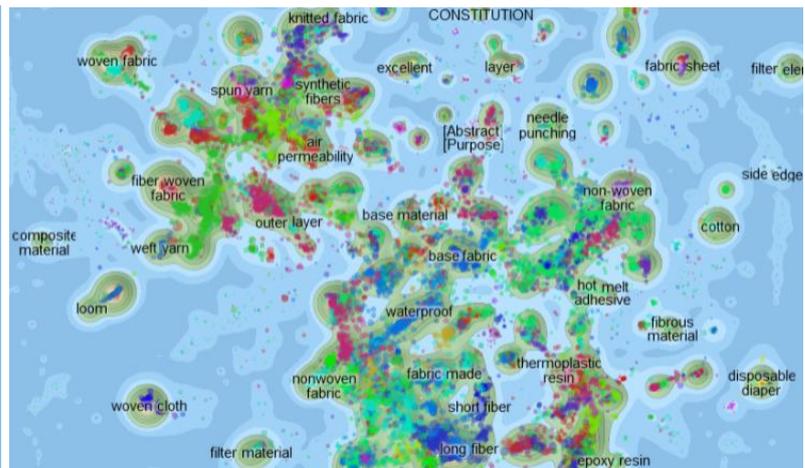


Gambar 9. Pemetaan organisasi pendaftar dominan paten kain tenun

Terdapat beberapa tema besar yang muncul dalam analisis kluster teks pada 51996 dokumen paten terkait kain tenun (lihat Gambar 10 dan 11). Tema besar tersebut antara lain kain tenun (*woven fabric*), serat sintesis (*synthetic fibers*), kain non-tenun (*non-woven fabric*), resin thermoplastic, dan material dasar (base material). Terdapat pula tema-tema kecil yang menarik untuk dipelajari lebih lanjut, seperti tahan air (*waterproof*), perekat *hot melt*, benang *spun*, benang *welt*, dan popok (*disposable diaper*).



Gambar 10. Tema pada kluster teks paten kain tenun



Gambar 11. Perbesaran gambar 10

Hasil analisis kekuatan paten menunjukkan 10 paten kain tenun kedaluwarsa terkuat (lihat tabel 2), yakni US6849142 B1, EP0445536 B1, US5543047 A, US6059368 A, US6035901 A, EP1149195 B1, US5482750 A, US6087549 A, US6737165 B1, dan US5394922 A. Walaupun dari analisis sebelumnya dapat diketahui bahwa Jepang sangat mendominasi bidang ini, namun paten kedaluwarsa terkuat lebih banyak berasal dari Amerika Serikat. Delapan dari sepuluh paten tersebut berasal dari perusahaan terkemuka di Amerika Serikat.

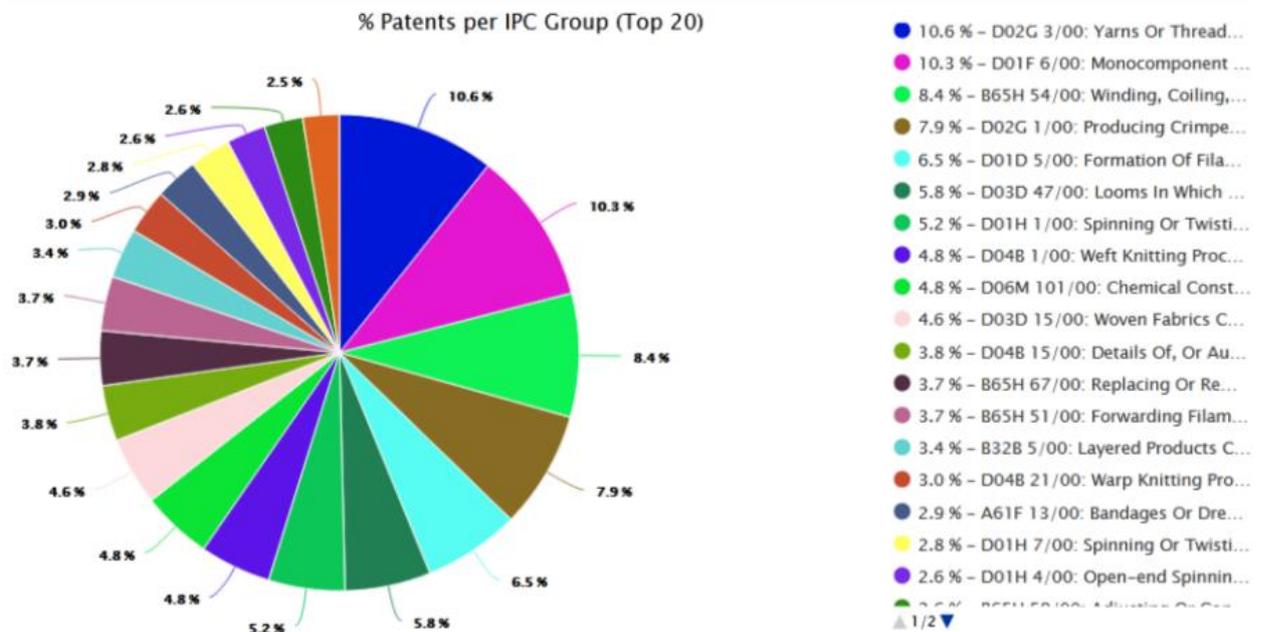
Tabel 2. Peringkat paten kain tenun kedaluwarsa berdasar kekuatan paten

No.	Nomor Paten	Judul	Pendaftar	Tanggal Pendaftaran	Kekuatan Paten
1.	US6849142 B1	<i>Method of making multi-layer female component for refastenable fastening device</i>	P&G	19-10-1993	92
2.	EP0445536 B1	<i>High strength heat bondable fibre</i>	Fibervisions	05-02-1991	92

3.	US5543047 A	<i>Filter with over-laid pleats in intimate contact</i>	Pall	21-12-1993	92
4.	US6059368 A	<i>Office chair</i>	Herman Miller	07-06-1995	92
5.	US6035901 A	<i>Woven fabric membrane for a seating surface</i>	Herman Miller	07-06-1995	92
6.	EP1149195 B1	<i>Splittable multicomponent elastomeric fibers</i>	Hills	06-10-1999	91
7.	US5482750 A	<i>Multiple cell honeycomb insulating panel and method of hanging</i>	Hunter Douglas	27-06-1991	91
8.	US6087549 A	<i>Multilayer laminate wound dressing</i>	Argentum Medical	22-09-1997	91
9.	US6737165 B1	<i>Melt-processible poly (tetrafluoroethylene)</i>	Elringklinger	16-02-2000	91
10.	US5394922 A	<i>Fabric light control window covering</i>	Hunter Douglas	13-04-1992	91

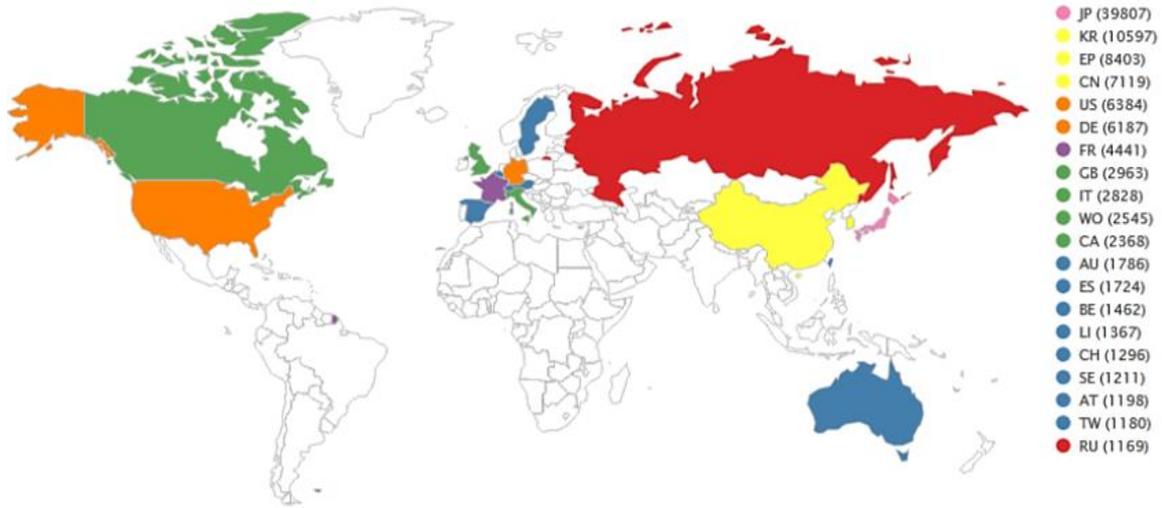
Hasil Analisis Paten Benang

Penelusuran dengan menggunakan kata kunci “yarn” menghasilkan daftar dokumen paten sebanyak 96370 paten kedaluwarsa. Angka ini menunjukkan jumlah yang paling besar dibandingkan penelusuran dengan dua kata kunci sebelumnya. Hal ini menunjukkan potensi yang paling signifikan untuk paten kedaluwarsa material tekstil. Lebih lanjut, hasil analisis memperlihatkan lima IPC yang paling dominan (lihat Gambar 12) antara lain adalah (1) D02G 3/00 benang, (2) D01F 6/00 filamen buatan berkomponen tunggal atau polimer sintesis, (3) B65H 54/00 mengikal, menggulung, atau menyimpan material filamen, (4) D02G 1/00 memproduksi serat, filament, benang berkerut atau berlekuk-lekuk, (5) D01D 5/00 pembentukan filamen atau benang.



Gambar 12. Grafik IPC dominan terkait benang.

Negara yang dominan penghasil paten kedaluwarsa terkait benang (lihat gambar 13) adalah Jepang (39807 paten), Korea Selatan (10597 paten), China (7119 paten), Amerika Serikat (6384 paten), dan Jerman (6187 paten). Sedangkan organisasi sebagai pendaftar paten terbanyak (gambar 14) adalah Toray (3695 paten), Murata (2728 paten), Teijin (1956 paten), Corteva (1701 paten), dan Toyobo (1484 paten). Jika dilihat dari sumber yurisdiksi dan organisasi, Negara dan Perusahaan Jepang sangat mendominasi teknologi terkait benang.

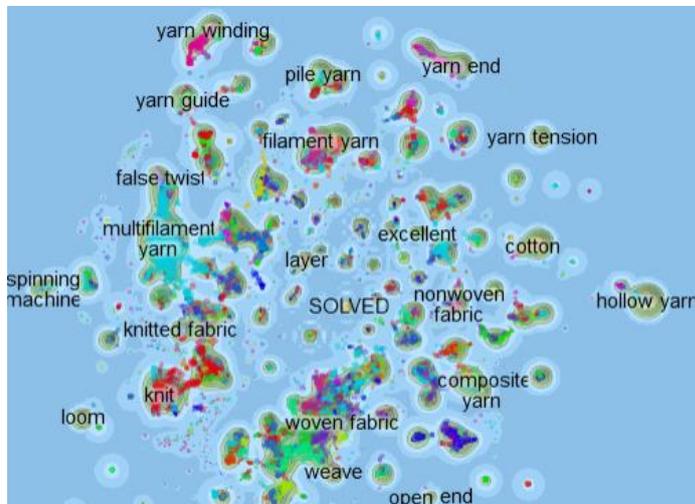


Gambar 13. Negara dominan penghasil paten benang



Gambar 14. Pemetaan organisasi pendaftar dominan paten benang

Tema besar yang muncul pada analisis kluster text terkait paten kedaluwarsa benang (lihat Gambar 15) antara lain adalah kain tenun (*woven fabric*), benang multi-filamen, kain rajutan (*knitted fabric*), dan benang filamen. Sedangkan tema kecil yang muncul adalah benang komposit (*composite yarn*), mesin pemintal (*spinning machine*), penggulungan benang (*yarn winding*), dan benang *hollow*. Tema-tema besar dan kecil yang muncul ini menjadi petunjuk untuk mengeksplorasi lebih lanjut paten kedaluwarsa terkait benang.



Gambar 15. Tema pada analisis kluster teks paten benang

Hasil analisis kekuatan paten memperlihatkan 10 paten kedaluwarsa benang yang terkuat (lihat Tabel 3). 10 paten tersebut adalah US6386634 B1, US6849142 B1, US6129978 A, US6035901 A, EP 1149195 B1, US 6031148 A, US6645586 B2, US6244203 B1, US6235657 B1, dan US5763043 A. Delapan dari sepuluh paten terkuat tersebut didaftarkan oleh perusahaan terkemuka di Amerika Serikat.

Tabel 3. Peringkat paten benang kedaluwarsa berdasar kekuatan paten

No.	Nomor Paten	Judul	Pendaftar	Tanggal Pendaftaran	Kekuatan Paten
1.	US6386634 B1	<i>Office chair</i>	Herman Miller	17-11-1995	92
2.	US6849142 B1	<i>Method of making multi-layer female component for refastenable fastening device</i>	P&G	19-10-1993	92
3.	US6129978 A	<i>Porous webs having a polymer composition controllably placed therein</i>	Nextec Applications	11-03-1997	92
4.	US6035901 A	<i>Woven fabric membrane for a seating surface</i>	Herman Miller	07-06-1995	92
5.	EP 1149195 B1	<i>Splittable multicomponent elastomeric fibers</i>	Hills	06-10-1999	91
6.	US 6031148 A	<i>Implantable bioabsorbable article</i>	W.L. Gore & Associates	02-04-1993	91
7.	US6645586 B2	<i>Energy conversion composition</i>	Shishiai - kabushikigaisha	22-03-1999	91
8.	US6244203 B1	<i>Independent servo motor controlled scroll-type pattern attachment for tufting machine and computerized design system</i>	Tuftco	26-11-1997	91
9.	US6235657 B1	<i>Laminate with web and laid components</i>	Johns Manville International	01-06-1993	91
10.	US5763043 A	<i>Open grid fabric for reinforcing wall systems, wall segment product and methods of making same</i>	Saint Gobain Technical	08-07-1993	91

KESIMPULAN

Industri tekstil Indonesia memiliki banyak masalah besar, mulai dari neraca perdagangan yang negatif, nilai impor yang terus meningkat, hingga produktivitas industri hulu yang semakin menurun akibat mesin yang semakin tua.^{2,3,4} Hal ini menyebabkan industri hilir tekstil sangat bergantung pada impor bahan baku. Kenaikan impor benang, serat sintetik, kain dan tekstil kini kian tak terbendung. Disisi lain, beberapa pihak sering menekankan bahwa diperlukan upaya dan fasilitasi riset dan pengembangan sebagai salah satu jalan keluar permasalahan ini. Namun, riset dan pengembangan belum bisa memberikan solusi yang cepat bagi permasalahan tersebut. Proses riset dan pengembangan cenderung memakan biaya besar, butuh waktu lama, dan sulit dikomersialkan.

Salah satu strategi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengaplikasikan invensi global kedaluwarsa terkait material tekstil. Beberapa penelitian terdahulu menyatakan bahwa upaya pemanfaatan paten kedaluwarsa dapat memberikan manfaat ekonomi yang cukup signifikan, contohnya pada penerapan produksi obat generik.^{8,10} Walaupun terdapat resiko persaingan yang ketat menuju penurunan harga dalam jangka panjang,¹⁴ pemanfaatan paten kedaluwarsa memiliki kelebihan tidak memakan biaya besar serta resiko kegagalannya rendah.¹³ Proses pemanfaatan ini tentu memerlukan penggalian potensi untuk mendapatkan paten-paten kedaluwarsa yang berkualitas tinggi dan masih memiliki nilai ekonomis yang besar. Namun, jarang sekali lembaga riset dan industri yang menerapkan metode penggalian informasi paten atau analisis paten untuk memanfaatkan paten kedaluwarsa. Hingga kini, terdapat kesenjangan yang cukup besar pada literatur dalam hal pengembangan metode dan studi empiris terkait penggalian potensi paten kedaluwarsa. Oleh karena itu kajian ini sangat diperlukan untuk mengisi kesenjangan yang ada dan memberikan gambaran potensi paten kedaluwarsa terkait material tekstil. Studi ini juga memberikan penambahan pada metode analisis paten untuk penelusuran paten kedaluwarsa.

Dengan menggunakan pendekatan analisis paten dan *software* Innography, kajian ini telah memberikan gambaran yang cukup detail mengenai potensi paten kedaluwarsa terkait material tekstil, khususnya kain tenun dan benang. Hasil analisis terangkum pada Tabel 4. Jika dilihat dari analisis paten menggunakan ketiga kata

kunci maka dapat diketahui potensi paten kedaluwarsa yang sangat besar dari segi jumlah jika dibandingkan hasil penelitian yang dilakukan oleh lembaga riset dan industri di Indonesia.

Tabel 4. Hasil analisis paten kedaluwarsa material tekstil 1990-2000

Dimensi analisis	Material Tekstil	Kain Tenun	Benang
Jumlah paten	12308 paten kedaluwarsa	51996 paten kedaluwarsa	96370 paten kedaluwarsa
IPC dominan	D06P 1/00 proses pewarnaan atau pencetakan tekstil A61F 13/00 perban atau penutup, bantalan penyerap C09B 62/00 pewarna reaktif D06B 3/00 perlakuan untuk tekstil dengan dilewatkan melalui cairan atau uap C09B 29/00 pewarna <i>monoazo</i> .	A61F 13/00 perban atau penutup, bantalan penyerap B32B 5/00 produk berlapis yang terkarakterisasi dari struktur non-homogen D04H 1/00 kain non-tenun yang terbentuk utuh atau utamanya dari serat tersambung B01D 39/00 material penyaring untuk cairan B32B 27/00 produk berlapis yang terdiri dari resin sintetis.	D02G 3/00 benang D01F 6/00 filamen buatan berkomponen tunggal atau polimer sintetis B65H 54/00 mengikal, menggulung, atau menyimpan material filamen D02G 1/00 memproduksi serat, filament, benang berkerut atau berlekuk-lekuk D01D 5/00 pembentukan filamen atau benang.
Jurisdiksi asal dominan	Jerman Perancis Amerika Serikat Jepang	Jepang Korea Selatan Amerika Serikat China Jerman	Jepang Korea Selatan China Amerika Serikat Jerman
Organisasi pendaftar dominan	BASF Novartis Sanofi Clariant AstraZeneca	Toray Panasonic Toyobo Unitika Asahi	Toray Murata Teijin Corteva Toyobo
Tema besar	Material serat Pewarna Material organik Material sintetis	Kain tenun Serat sintetis Kain non-tenun Resin thermoplastic Material dasar	Kain tenun Benang multi-filamen Kain rajutan Benang filamen.
Tema kecil	Material komposit Kain rajutan Material tahan api	Tahan air Perekat <i>hot melt</i> Benang <i>spun</i> Benang <i>welt</i> Popok	Benang komposit Mesin pemintal Penggulungan benang Benang <i>hollow</i> .
Paten terkuat	EP0942255 B1 DE19516957 C2 EP1707233 A2 US7005558 B1 EP0884312 B1 EP0880909 B1 US7244780 B1 US5237726 A US6139868 A EP0468921 B1	US6849142 B1 EP0445536 B1 US5543047 A US6059368 A US6035901 A EP1149195 B1 US5482750 A US6087549 A US6737165 B1 US5394922 A	US6386634 B1 US6849142 B1 US6129978 A US6035901 A EP 1149195 B1 US 6031148 A US6645586 B2 US6244203 B1 US6235657 B1 US5763043 A.

Kajian ini juga memberikan petunjuk arah untuk penggalian potensi paten kedaluwarsa terkait material tekstil lebih lanjut oleh lembaga riset dan industri. Untuk material tekstil secara umum, penggalian sebaiknya diarahkan pada IPC D06P 1/00, A61F 13/00, dan C09B 62/00; tentunya penggalian tersebut dengan mempertimbangkan kebutuhan industri serta pasar dalam negeri. Rujukan utama pembandingan penerapan teknologi material tekstil adalah perusahaan dari Jerman (BASF). Adapun tema-tema yang dapat diangkat adalah material serat, pewarna, material organik, dan material sintetis. Sedangkan untuk topik “kain tenun”,

upaya penggalan potensi sebaiknya diarahkan pada IPC A61F 13/00, B32B 5/00, dan D04H 1/00 dengan rujukan utama pembanding perusahaan dari Jepang (Toray). Tema besar yang perlu diangkat adalah kain tenun, serat sintesis, kain non-tenun, resin *thermoplastic*, dan material dasar. Pada topik “benang” upaya eksplorasi difokuskan pada IPC D02G 3/00, D01F 6/00, dan B65H 54/00. Pembanding utama aplikasi paten terkait benang adalah perusahaan dari Jepang (Toray). Tema yang dapat diangkat terkait teknologi benang antara lain adalah benang multi-filamen, benang filamen, benang komposit, penggulangan benang, dan benang *hollow*. Pada dasarnya kajian ini memberikan gambaran awal dan petunjuk bagi peneliti maupun pelaku industri untuk mencari paten kedaluwarsa yang berkualitas tinggi. Untuk penerapan di lapangan, tentu membutuhkan upaya eksplorasi lebih lanjut untuk mengetahui kesesuaian teknologi yang diperoleh dengan kebutuhan industri atau pasar, serta memerlukan upaya pembelajaran teknologi yang komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Tobing, S. katadata.co.id: <https://katadata.co.id/yurasyahrul/indepth/5ea7d4e5648ed/industri-tekstil-ri-saat-pandemi-sudah-jatuh-tertimpa-tangga> (2020).
2. Sitohang, K. validnews.id: <https://www.validnews.id/Berat-Langkah-Industri-Tekstil-dan-Produk-Tekstil--TPT-Lup>. (2020).
3. Tempo. bisnis.tempo.co: <https://bisnis.tempo.co/read/1259379/mesin-tua-jadi-kelemahan-industri-tekstil-nasional> (2019).
4. Timorria, I. ekonomi.bisnis.com: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20200826/257/1283367/ternyata-industri-tekstil-punya-masalah-kronis-apa-saja> (2020).
5. Purnomo, H. Retrieved from cnbcindonesia.com: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20191111124839-4-114269/fakta-tsunami-impor-tekstil-70-barang-dari-china> (2019).
6. Prasetyo, P. Kesiapan industri tekstil dalam mendukung poros maritim dan peningkatan daya saing. *Prosiding Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu & Call for Papers Unisbank* (pp. 1-7). Semarang: Unisbank, ISBN: 978-979-3649-81-8 (2015).
7. Moreira, R. Proposta de um padrão gerencial de gestão de portfólio. *Mestre, Engenharia da Produção*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo (2008).
8. Yugue, R., Maximiano, A., Sbragia, R., & Nascimento, P. Innovation on expired patent medicines in the Brazilian pharmaceutical industry. *Proceedings of PICMET '18: Technology Management for Interconnected World* (pp. 1-12). Honolulu, Hawaii: IEEE (2018).
9. Hendrix, T., Ferianto, & Rohmah, T. Pemanfaatan paten public domain untuk daya saing industri (Studi paten pupuk organik). *Jurnal Ilmiah Manajemen Forkamma*, 3(1), 74-84 (2019).
10. Hansen, N., & Tunnah, P. The generic R&D challenge: Seeking the elusive profit margin. *Journal of Generic Medicines: The Business Journal for the Generic Medicines Sector*, 1(1), 6-12 (2003).
11. Lichtenberg, F., & Duflos, G. *Time release: The effect of patent expiration on U.S. drug prices, marketing, and utilization by the public*. Manhattan: Manhattan Institute (2009).
12. Kale, D., & Little, S. From imitation to innovation: The evolution of R&D capabilities and learning processes in the Indian pharmaceutical industry. *Technology Analysis & Strategic Management*, 19(5), 589-609 (2007).
13. Garud, S., Derle, D., & Derle, N. Supergenerics - a cost saving paradigm. *International Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 5(11), 57-66 (2014).
14. Dylst, P., Vulto, A., Godman, B., & Simoens, S. Generic medicines: Solutions for a sustainable drug market? *Applied Health Economics and Health Policy*, 11(5), 437-443 (2013).
15. Nequis, E., & Villalobos, L. Competition patterns and their effect on the prices of expired patent medicines in Mexico: The case of antibiotics. *Economia*, XLI(82), 125-156 (2018).
16. Pearce, J. How companies can preserve market dominance after patent expire. *Long Range Planning*, 39, 71-87 (2006).
17. Sandal, N., & Kumar, A. Role of freedom to operate in business with proprietary products. *Journal of Intellectual Property Rights*, 16, 204-209 (2011).
18. Koenig, M. Patent royalties extending beyond expiration: An illogical ban from Brulotte to Scheiber. *Duke Law & Technology Review*, 1-11 (2003).
19. Ashton, W., & Sen, R. Using patent information in technology business planning-I. *Research Technology Management*, 31(6), 42-46 (1988).
20. Narin, G., & Noma, E. Patents as indicators of corporate technological strength. *Research Policy*, 16, 143-155 (1987).
21. Abraham, B., & Moitra, S. Innovation assessment through patent analysis. *Technovation*, 21, 245-252 (2001).
22. Shipman, J. International patent planning. *Harvard Business Review*, 116-132 (1967).

PENGEMBANGAN *SELF CLEANING TEXTILE* DENGAN APLIKASI NANOPARTIKEL TITANIUM DIOKSIDA DAN DOPING LOGAM

DEVELOPMENT OF *SELF-CLEANING TEXTILE* THROUGH APPLICATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLE AND METAL DOPING

Nafisa Rizki Maulida,¹ Doni Sugiyana,² Wiah Wardiningsih¹

¹Politeknik STTT Bandung, Jl. Jakarta No.31, Bandung 40272
E-mail: nafisa.rm97@yahoo.com, wiahwards@gmail.com

²Balai Besar Tekstil, Jl. Jenderal A. Yani No.390, Bandung
E-mail: dsugiyana@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Sifat *self-cleaning* merupakan kemampuan bahan dalam mendegradasi kotoran yang menempel pada kain. Proses penyempurnaan kain untuk mendapatkan sifat *self-cleaning* dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi fotokatalitik dan material nano. Paper ini memaparkan kajian literatur untuk mendukung rencana penelitian pengembangan tekstil yang bersifat *self-cleaning* (*self-cleaning textile*) dengan mengaplikasikan nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) dan doping logam. Proses degradasi fotokatalitik merupakan proses reaksi yang melibatkan foton dan katalis yang mampu mendegradasi molekul organik melalui fotoreaksi. TiO₂ adalah katalis semikonduktor yang tidak bersifat toksik, ekonomis, dan memiliki stabilitas kimia sangat baik serta aktivitas katalitik yang tinggi. Immobilisasi nanopartikel TiO₂ pada proses penyempurnaan kain dapat dilakukan secara langsung atau secara *in-situ* yang diinisiasi sintesis nanopartikel dengan metode sol-gel. Proses doping menggunakan material logam atau non-logam bertujuan untuk menurunkan celah *band gap*, meningkatkan efek fotokatalitik pada cahaya tampak. Rencana penelitian yang akan dilakukan meliputi sintesis nanopartikel TiO₂ dengan doping logam besi (Fe) menggunakan metode sol-gel, dilanjutkan dengan immobilisasi pada kain kapas dengan metode *pad-dry-cure* menggunakan asam sitrat sebagai zat pengikat silang. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan metode modifikasi permukaan kain bersifat *self-cleaning* yang efektif, sederhana dan dengan penggunaan bahan yang ekonomis.

Kata kunci: *self-cleaning*, nanopartikel, titanium dioksida, doping logam

ABSTRACT

Self-cleaning property is the ability of materials in degraded impurities attached to the fabric. The process of finishing textile to obtain self-cleaning properties can be conducted by utilizing photocatalytic technology and nanoscale materials. This paper presents a literature review to support the research plan for developing self-cleaning textiles by applying titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles and metal doping. Photocatalytic degradation is a reaction process involving photons and a catalyst capable of degrading organic molecules through photoreaction. TiO₂ is a semiconductor catalyst that is non-toxic, economical, and has excellent chemical stability and high catalytic activity. Immobilization of TiO₂ nanoparticles in the finishing textile process can be carried out directly or in-situ, initiated by the synthesis of nanoparticles using the sol-gel method. The doping process using metal or non-metallic materials aims to reduce the band gap, increasing the photocatalytic effect on visible light. The research plan that will be carried out includes the synthesis of TiO₂ nanoparticles doped with iron (Fe) using the sol-gel method, followed by immobilization on cotton fabric with the pad-dry-cure method using citric acid as a cross-linking agent. The aim of this research is to find a method of self-cleaning fabric surface modification that is effective, simple and uses economical materials.

Keywords: *self-cleaning, nanoparticle, titanium dioxide, metal doping*

PENDAHULUAN

Sifat *self-cleaning* merupakan kemampuan bahan dalam mendegradasi kotoran (noda saus, kecap, minuman, tinta dan zat pewarna) yang menempel pada kain. Konsep *self-cleaning* berguna dalam berbagai aplikasi termasuk bahan tekstil yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Fitur ini juga dapat dikembangkan dalam aplikasi lain seperti tekstil medis, pakaian atletik, seragam militer dan juga kain luar ruangan. Konsep *self-cleaning* bersifat ramah lingkungan karena secara efektif mengurangi upaya pembersihan, mampu menghemat air, energi, waktu, dan penggunaan deterjen.

Ada dua jenis sifat fisik pembuatan bahan *self-cleaning*, yaitu yang bersifat superhidrofobik dan hidrofilik. Kedua jenis lapisan *self-cleaning* tersebut bekerja dengan menggulirkan tetesan air untuk membawa

kotoran pada lapisan superhidrofobik dan air lebaran pada lapisan yang hidrofilik. Pada bahan yang hidrofilik secara kimia dapat memecah kotoran yang teradsorpsi di bawah sinar matahari melalui bantuan fotokatalis yang juga dikenal sebagai lapisan fotokatalitik hidrofilik.²⁹

Proses degradasi fotokatalitik merupakan proses reaksi yang melibatkan cahaya (foton) dan katalis.¹³ Material semikonduktor untuk proses fotokatalisis yang banyak diteliti dalam hal ini ialah nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) karena tidak bersifat toksik, harga yang relatif lebih murah, stabilitas kimia sangat baik, stabilitas termal yang cukup tinggi, dan aktivitas katalis yang tinggi.⁶ Hingga saat ini, para peneliti menunjukkan ketertarikan untuk meningkatkan efisiensi penggunaannya.²⁴

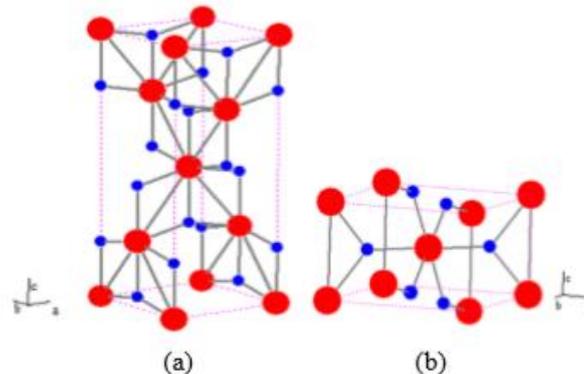
Reaksi fotokatalisis nanopartikel TiO_2 hanya aktif bekerja di bawah iradiasi sinar UV karena energi celah pita TiO_2 yang relatif besar (3,2 eV untuk fase anatase), sedangkan sinar UV yang masuk ke bumi hanya berkisar 3-5% dan efisiensi hasil yang rendah kurang dari 10% karena proses rekombinasi yang terlalu cepat antara elektron dan *hole*.³² Hal tersebut berpengaruh terhadap efek fotokatalitik nanopartikel TiO_2 dalam mendegradasi zat organik atau kemampuan *self-cleaning* pada bahan.

Para peneliti berupaya melakukan modifikasi TiO_2 yang mampu mengubah struktur elektronik TiO_2 sehingga menurunkan energi celah pita, diantaranya ialah; pengendapan ion logam mulia pada permukaan TiO_2 , *doping* dengan logam transisi, *doping* dengan non logam seperti; N, P, C, S.³ Selain non logam, imobilisasi logam transisi Cr,³⁸ Cu,¹⁶ Fe,³³ dan Ni²⁷ juga berhasil mengaktifkan TiO_2 pada cahaya tampak sekaligus meningkatkan kinerja fotokatalitik. Penambahan dopan seperti Fe pada TiO_2 telah dibuktikan oleh peneliti sebelumnya untuk meningkatkan beberapa kinerja TiO_2 , salah satunya meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO_2 .²⁴

Berdasarkan hasil kajian literatur penggunaan dopan logam besi (Fe) pada nanopartikel TiO_2 mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik, karena ion Fe^{3+} dapat bertindak sebagai *hole* dan perangkap elektron yang meningkatkan masa pakai elektron dan *hole*. Selain itu, *doping* Fe juga dapat mendorong nanopartikel TiO_2 untuk menyerap cahaya pada panjang gelombang yang lebih tinggi, sehingga berpotensi digunakan untuk aplikasi dalam ruangan. Keberadaan Fe mampu menghambat tingkat rekombinasi pasangan h^+/e^- dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari nanopartikel TiO_2 .¹⁵

Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatase, rutil, dan brookite, tetapi hanya anatase dan rutil saja yang keberadaannya di alam cukup stabil.¹³ Anatase memiliki daerah aktivasi yang lebih luas dibandingkan dengan rutil, sehingga kristal dalam bentuk anatase lebih reaktif terhadap cahaya. Besar *energy gap* pada kedua struktur tersebut berbeda, anatase memiliki rentang *energy gap* 3,2 eV dan rutil 3,0 eV.¹⁰



Gambar 1. Struktur kristal TiO_2 : (a) Fasa anatase (b) Fasa rutil yang menunjukkan bulatan merah (Ti) dan bulatan biru (O).

Menurut Shah et al., (2012) ketika fotokatalis seperti TiO_2 diterangi oleh cahaya dengan energi lebih tinggi dari energi celah pita, pasangan lubang elektron berdifusi ke permukaan fotokatalis. Elektron dan oksigen negatif yang terbentuk bergabung menjadi superoksida, dan lubang positif dengan air menghasilkan radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi polutan organik menjadi karbon dioksida dan air. Pasangan lubang elektron fotogenerasi memiliki waktu rekombinasi rata-rata pada urutan 10^{-9} , sedangkan skala waktu interaksi kimia TiO_2 dengan zat warna atau bahan kimia yang teradsorpsi berada dalam kisaran yang lebih lambat antara 10^{-8} hingga 10^{-3} detik. Perbedaan antara dua skala waktu ini menghasilkan rekombinasi pasangan lubang elektron yang tidak diinginkan, yang mengarah pada penurunan efisiensi dalam aktivitas fotokatalitik TiO_2 . Gambaran umum spektrum elektromagnetik dalam rentang optik dapat dilihat pada Tabel 1. Rentang spektral dengan relevansi sifat optik semikonduktor di bawah.

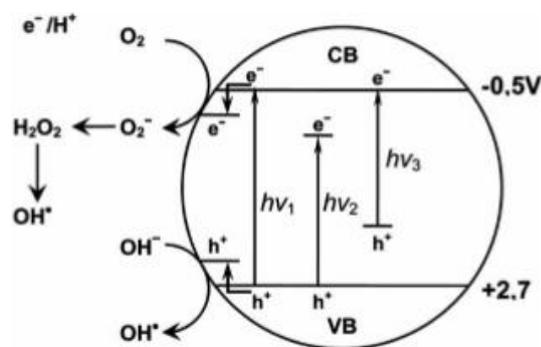
Tabel 1. Rentang spektral dengan relevansi sifat optik semikonduktor

Range		Wavelengths	Energies
Deep ultraviolet	DUV	<250 nm	>5 eV
Ultraviolet	UV	250-400 nm	3-5 eV
Visible	VIS	400-800 nm	1.6-3 eV
Near infrared	NIR	800 nm-2 μ m	0.6-1.6 eV
Mid-infrared	MIR	2-20 μ m	60 meV-0.6 eV
Far infrared	FIR	20-80 μ m	1.6-60 meV
THz region	THz	>80 μ m	<1.6 meV

Sumber: Grundman, 2016

Nanopartikel TiO₂ hanya menunjukkan aktivitas fotokatalitik di bawah sinar UV, yang merupakan salah satu batasan utama untuk mengembangkan penggunaannya.²² Optimasi penggunaan TiO₂ dengan memanfaatkan cahaya matahari dapat dilakukan dengan memperkecil *energy gap* sehingga penyerapan cahaya dapat bergeser ke daerah cahaya tampak. Metode yang tengah banyak dikembangkan salah satunya adalah *doping* dengan atom-atom logam maupun non logam.⁸ *Doping* TiO₂ dengan non logam seperti C²⁵, S³⁴, F^{39,44}, N³⁷ dan B² terbukti efektif menggeser serapan optik TiO₂ ke level energi lebih rendah.

Selain non logam, imobilisasi logam transisi Cr³⁸, Cu¹⁶, Fe³⁴ dan Ni²⁷ juga berhasil mengaktifkan TiO₂ pada cahaya tampak sekaligus meningkatkan kinerja fotokatalitik. Aktivitas fotokatalis TiO₂ yang didoping dengan logam tertentu dapat dijelaskan dengan adanya tingkat energi baru TiO₂ akibat dispersi logam yang dimasukkan dalam matriks TiO₂. Elektron tereksitasi dari pita valensi ke tingkat energi tertentu di bawah pita konduksi TiO₂ akibat mengabsorpsi cahaya dengan energi $h\nu_2$. Keuntungan adanya penambahan logam transisi ke dalam matriks TiO₂ adalah mampu memperbaiki pemerangkapan elektron sehingga rekombinasi elektron *hole* dapat diperkecil selama iradiasi. Selain menghasilkan *band gap* yang baru, doping logam juga dapat mempercepat aktivitas fotokatalis.⁴¹ Mekanisme fotokatalisis TiO₂ murni, TiO₂ yang didoping dengan non logam dan TiO₂ doping logam dapat dilihat pada Gambar 2. Mekanisme fotokatalisis TiO₂: $h\nu_1$: TiO₂ murni; $h\nu_2$: TiO₂ doped logam; dan $h\nu_3$: TiO₂ doped non logam.⁴¹



Gambar 2. Mekanisme fotokatalisis TiO₂: $h\nu_1$: TiO₂ murni; $h\nu_2$: TiO₂ doped logam; dan $h\nu_3$: TiO₂ doped non logam

Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO₂) dengan Doping Logam

Nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) yang didoping dengan logam dan penerapan sifat fotokatalitiknya dalam aplikasi *self-cleaning* diantaranya sebagai berikut. Kain *self-cleaning* dengan modifikasi TiO₂ yang didoping Cu dan penambahan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) yang dilakukan dengan sonikasi. Cu didoping pada nanopartikel TiO₂ dengan metode *Photo Assisted Deposition* (PAD) di bawah iradiasi sinar UV dan diterapkan pada kain kapas. Penambahan TEOS menyebabkan ikatan Ti-O-Si yang bertindak sebagai jembatan elektron. Hasil kinerja fotodegradasi terhadap *methylene blue* pada kain meningkat hingga 74,4% dalam waktu 2 jam dan efisiensi *self-cleaning* lumpur kotoran pada kain meningkat hingga efisiensi 83%.¹²

Pada penelitian lainnya sintesis fotokatalis TiO₂ yang didoping Cu mengakibatkan nanopartikel TiO₂ menjadi aktif pada sinar tampak. Sintesis TiO₂-Cu dilakukan dengan dua metode yang berbeda yaitu metode impregnasi basah dan metode fotodeposisi. Logam Cu menurunkan energi celah pita TiO₂ dari 3,48 eV menjadi min 2,25 eV pada variasi perbandingan TiO₂-Cu 98:2 dengan metode fotodeposisi, yang dapat aktif pada sinar tampak dan meningkatkan daya adsorpsi air.²⁸

Pada penelitian Zahid et al., (2018) fabrikasi anti bakteri dan *self-cleaning* pada cahaya tampak dengan nanopartikel TiO₂ yang *didoping* mangan dengan metode sol gel menghasilkan ukuran partikel 11,68 μ m

kemudian di *milling* hingga ukuran 150 nm. TiO₂ : Mn dicampur PDMS dengan perbedaan ratio dan diterapkan pada kain dengan metode *spray coating*. Kain dengan perlakuan TiO₂ *doped* Mn menghasilkan *self-cleaning* yang lebih baik di bawah iradiasi UV dan sedikit lebih rendah pada cahaya tampak, dan bersifat *biocompatible*.

Kain kapas bersifat *self-cleaning* pada cahaya tampak dengan fotokatalis campuran Au/TiO₂/SiO₂ nanosol dengan menambahkan AuCl₃ dan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) ke dalam larutan TiO₂. Pelapisan pada kain kapas dilakukan dengan metode *dip-pad-dry-cure*. *Nanocomposite* yang bersifat hidrofilik menghasilkan *self-cleaning* yang lebih baik di bawah cahaya tampak, hingga 20 kali pencucian. Au dapat meningkatkan laju transfer elektron ke oksigen dan mengurangi laju rekombinasi antara elektron tereksitasi/*hole pairs*. Kekurangan dari *nanocomposite* yang digunakan ialah harga yang relatif mahal dan pembuatannya yang kompleks.³⁶

Penelitian Petica et al., (2015), nanopartikel TiO₂ *doping* N dan Fe dilakukan dengan perlakuan termal yang dicampur urea dan FeCl₃.6H₂O diterapkan pada permukaan kulit. Hasil *doping* N dan Fe meningkatkan fotokatalitik dengan iradiasi cahaya tampak dan sudut kontak yang rendah, fotoinduksi menyebabkan permukaan menjadi lebih hidrofilik. *Doping* dengan Fe menyebabkan penurunan tingkat rekombinasi antara elektron fotogenerasi dan lubang, penambahan Fe dan N bersamaan mampu memperkecil *band gap energy* nanopartikel TiO₂.

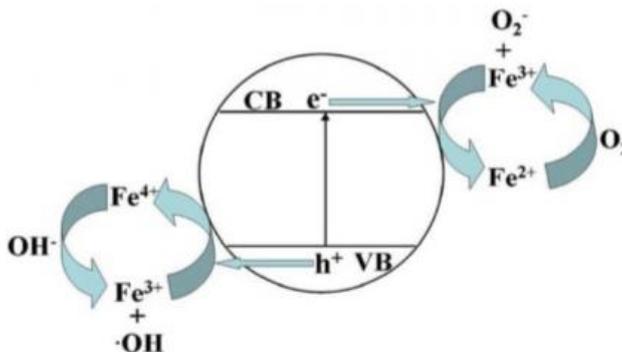
Penambahan dopan seperti besi (Fe) ke TiO₂ telah dibuktikan oleh peneliti sebelumnya untuk meningkatkan beberapa propertinya. Secara umum, TiO₂ yang *didoping* Fe mengalami peningkatan aktivitas fotokatalitik, karena ion Fe³⁺ dapat bertindak sebagai *hole* dan perangkap elektron yang meningkatkan masa pakai elektron dan *hole*. Selain itu, *doping* Fe juga dapat mendorong nanopartikel TiO₂ untuk menyerap cahaya pada panjang gelombang yang lebih tinggi, dan karena itu berpotensi digunakan untuk aplikasi dalam ruangan.⁴⁴

Sintesis dan karakterisasi TiO₂/Ti yang *didoping* dengan Fe(III) menggunakan metode anodisasi in-situ, diikuti dengan proses kalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam menghasilkan struktur fase anatase, dan ukuran kristalit sebesar 124,58 nm. Karakterisasi UV-Vis/DRS menunjukkan pergeseran serapan pada panjang gelombang 426 nm dengan energi celah pita sebesar 2,91 eV.⁹

Penelitian Hung dkk., (2008) dengan sintesis dan karakterisasi nanopartikel TiO₂ dan Fe/TiO₂ dengan metode sol-gel yang dikalsinasi pada suhu 500°C terhadap kinerja fotokatalitik pada 1,2 dichloroethane. Hasil sintesis menunjukkan partikel berbentuk bola dengan ukuran kristal sekitar 10–20nm dengan fase campuran anatase dan rutil. Absorbansi UV dengan jumlah Fe paling sedikit (0,001 mol %) menunjukkan absorbansi UV tertinggi dengan aktivitas fotokatalitik lebih baik daripada TiO₂ atau P25 yang disintesis.¹⁵

Nanopartikel TiO₂ *doping* Fe yang disintesis melalui metode MOCVD (*metal organic chemical vapour deposition*) menunjukkan peningkatan area permukaan dan penyerapan spektrum pada cahaya tampak seiring dengan peningkatan konsentrasi dopan Fe. Namun, ditemukan bahwa *doping* Fe menurunkan aktivitas fotokatalitik, sehingga pilihan metode untuk menghasilkan nanopartikel TiO₂ yang *didoping* Fe harus dibuat mengingat kinerja dan aplikasi fotokatalitiknya metode *doping* masih dapat dimodifikasi kembali.²⁴

Logam transisi Fe tepat digunakan dalam hal ini, karena di antara logam-logam transisi lainnya jari-jari ion Fe³⁺ yang dimiliki hampir sama dengan jari-jari ion Ti⁴⁺, sehingga dimungkinkan ion Fe³⁺ akan lebih mudah mensubstitusi ion Ti⁴⁺ di dalam kisi kristal TiO₂.¹⁴ Sathiskumar et al., (2011) telah melakukan sintesis nanopartikel fotokatalis Fe-TiO₂ dengan menggunakan metode impregnasi pada TiO₂ Degussa P25 untuk fotodegradasi zat warna azo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Fe-TiO₂ memiliki serapan pada panjang gelombang 600 nm, yang mengindikasikan adanya level energi baru yang terbentuk akibat penambahan ion Fe³⁺.



Gambar 3. Skema diagram Fe³⁺ yang bertindak sebagai mediator transfer pada permukaan

Penambahan logam besi (Fe) dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis dengan mekanisme yang dapat dilihat pada Gambar 3. menunjukkan bahwa ion Fe^{3+} dapat bertindak sebagai perangkap dari fotogenerasi *electrone* dan *hole* serta dapat menghambat rekombinasi *electrone-hole*.³⁹

Sintesis Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) Metoda Sol gel

Metode sol gel melibatkan dua jenis bahan atau komponen, 'sol' dan 'gel'. Sol gel sudah dikenal sejak saat M. Ebelman mensintesisnya pada tahun 1845. Sejak satu atau dua dekade terakhir minat terhadap metode sol gel meningkat, baik di bidang ilmiah dan industri, karena beberapa keunggulan yang didapat. Pembentukan sol gel biasanya dengan proses suhu rendah yang berarti lebih sedikit konsumsi energi dan polusi. Proses sol gel melibatkan pembentukan 'sol' dalam cairan dan kemudian menghubungkan partikel sol (atau beberapa subunit yang mampu membentuk jaringan berpori) untuk membentuk jaringan. Kemudian cairan diuapkan, untuk mendapatkan bubuk, film tipis atau bahkan padatan monolitik.²¹

TiO_2 dapat dihasilkan dari reaksi antara senyawa titanium tetraklorida ($TiCl_4$) dan O_2 . Tetraklorida ini dihidrolisis dalam larutan encer hingga diperoleh endapan berupa titanium dioksida. Senyawa TiO_2 larut secara lambat dalam H_2SO_4 pekat, membentuk kristal sulfat dan menghasilkan produk titania dengan alkali cair.⁴ Titanium dioksida (TiO_2) memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatase, rutil, brookite, tetapi hanya anatase dan rutil yang keberadaannya di alam cukup stabil.¹³ Anatase memiliki daerah aktivasi yang lebih luas dibandingkan dengan rutil, sehingga struktur kristal anatase menjadi lebih reaktif terhadap cahaya.¹⁰ Struktur anatase lebih banyak digunakan sebagai fotokatalis karena reaktivitasnya yang tinggi, sedangkan rutil banyak digunakan sebagai pigmen karena sifat penghamburan sinar yang efektif.¹

Metode sol gel untuk sintesis TiO_2 yang *didoping* ion Fe^{3+} ke dalam kisi kristal TiO_2 dan diaplikasikan untuk *self-cleaning* pada keramik dengan metode *cold spray* menunjukkan kinerja fotokatalitik yang baik. Fe telah dianggap sebagai kandidat yang tepat karena radius Fe^{3+} (0,64 Å) mirip dengan Ti^{4+} (0,68 Å), untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik TiO_2 , sebagai akseptor di bawah iradiasi UV dan sebagai injektor elektron di bawah iradiasi cahaya tampak.³⁰

Keberadaan Fe menghambat tingkat rekombinasi pasangan h^+/e^- dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari nanopartikel TiO_2 .¹⁵ Spektrum refleksi penggunaan sinar UV menunjukkan pergeseran penyerapan nanopartikel TiO_2 yang *didoping* Fe pada panjang gelombang yang lebih panjang, sehingga menunjukkan peningkatan penyerapan dalam spektrum cahaya tampak.²⁴

Penerapan Nanopartikel TiO_2 Doping Fe Pada Kain Kapas

Pengikatan nanopartikel dengan kuat pada permukaan tekstil merupakan bagian penting dalam penerapan nanoteknologi di industri tekstil. Untuk memastikan daya tahan sifat yang diinginkan meningkat dan juga pelepasan minimum nanopartikel ke lingkungan. Untuk menerapkan nanopartikel, kompatibilitas kimia maksimum antara nanopartikel dan permukaan tekstil harus dicapai.⁴²

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa pelapisan TiO_2 dari kain kapas dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai perlakuan awal dan teknik seperti RF-plasma, MW-plasma, iradiasi UV, sonikasi, *spray coating*, *dip-pad-dry-cure* dan *dip-coating*. Salah satu cara untuk menerapkan nano TiO_2 pada kain kapas dicapai dengan menggunakan zat pengikat silang yang diteliti oleh (Chen dan Wang, 2006). Zat pengikat silang perlu memiliki setidaknya dua gugus karboksilat untuk dapat mengikat kapas dan TiO_2 . Zat pengikat silang diperoleh dengan pembentukan ikatan ester kovalen. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa TiO_2 mengadakan interaksi elektrostatis yang kuat dengan gugus karboksilat.²² Molekul selulosa mempunyai satu gugus hidroksil primer dan dua gugus hidroksil sekunder pada setiap unit glukosa. Gugus hidroksil merupakan gugus fungsi yang berperan untuk mengadakan ikatan dengan gugus karboksilat pada asam sitrat sebagai zat pengikat silang dengan nanopartikel TiO_2 .

Menurut Meilert et al., (2005) tingkat *self-cleaning* kain yang *dicuring* dengan metode *cross-link* lebih tinggi daripada kain yang *dicuring* dengan metode *non-link*, karena persentase yang lebih tinggi dan distribusi yang lebih seragam dari partikel titania di atas permukaan kain kapas dalam metode *cross-link*. Proses *pad-dry-cure* sering digunakan untuk membuat ikatan antara nanopartikel dan kain. Chaudari et al., (2012) meneliti efek *pretreatment* nano TiO_2 pada sifat fungsional kain kapas menunjukkan bahwa gugus asam karboksilat dapat bertindak sebagai pengubah permukaan untuk melekatkan partikel nano TiO_2 ke dalam kain.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan immobilisasi TiO_2 pada kain kapas dengan asam polikarboksilat (asam suksinat dan asam sitrat) sebagai *crosslinking* dalam kondisi optimum menghasilkan fotokatalisis yang stabil dan aktif di bawah iradiasi UV. Suhu dan waktu *curing* faktor yang sangat penting, karena berkaitan dengan reaksi esterifikasi selulosa dan reaksi ikatan silang.⁷ Aktivitas *self-cleaning* pada kain kapas yang dilapisi binder asam oksalat dan TiO_2 dengan metode *pad-dry-cure*. Aktivitas *self-cleaning* terbaik dihasilkan pada kain terlapis TiO_2 menggunakan binder asam oksalat 25% dengan aktivitas *self-cleaning* 10,7. Semakin banyak penggunaan asam oksalat menurunkan kinerja TiO_2 , karena terjadi aglomerasi.⁴⁰

Self-cleaning kain kapas dengan nano TiO₂/maleic acid/ triethanol amine/ sodium hypophosite sebagai zat ikat silang. Penerapan koloid nano TiO₂, asam maleat (MA), natrium hipofosfit (SHP), dan triethanol amine pada kain kapas melalui proses *pad-dry-cure*. Peningkatan konsentrasi MA hingga 20% meningkatkan CRA kain. Peningkatan konsentrasi TEA menurunkan nilai CRA dan mengurangi efek *yellowing*. Kain yang diberi perlakuan memiliki sifat *self cleaning* terhadap degradasi *methylene blue* yang baik dan setelah 10 kali pencucian berulang.²²

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur terhadap pengembangan fitur *self-cleaning* didapatkan bahwa proses *doping* menggunakan material logam atau non-logam pada nanopartikel TiO₂ bertujuan untuk menurunkan celah *band gap*, dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik nanopartikel TiO₂ pada cahaya tampak. *Doping* dengan logam besi (Fe) mampu menghambat tingkat rekombinasi pasangan *electrone* dan *hole* pada nanopartikel TiO₂, serta dapat meningkatkan efek fotokatalitik pada cahaya tampak, sehingga berpotensi digunakan untuk aplikasi dalam ruangan. Penerapan nanopartikel TiO₂ pada kain kapas dapat dilakukan dengan bantuan zat pengikat silang yang mengandung gugus karboksilat, sehingga terjadi pembentukan ikatan ester kovalen yang mengikat nanopartikel TiO₂ dengan kain kapas. Untuk itu, rencana penelitian yang akan dilakukan meliputi sintesis nanopartikel TiO₂ dengan *doping* logam besi (Fe) menggunakan metode sol-gel, dilanjutkan dengan immobilisasi pada kain kapas dengan metode *pad-dry-cure* menggunakan asam sitrat sebagai zat pengikat silang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barakat, M. A., Hayes, G., and Shah, S. I. Effect of Doping on the Phase Transformation of TiO₂ Nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. Vol. **10**. pp. 1-7. (2005).
2. Bassegato G. G., Silva F. B., Zanoni M. V. B., Combination of photoelectrocatalysis and ozonation: A novel and powerful approach applied in Acid Yellow 1 mineralization. *Applied Catalysis: Environmental*. **180** 161-168. (2016).
3. Bergamonti L., Predieri G., Paz Y., dkk. Enhanced self-cleaning properties of N-doped TiO₂ coating for Cultural Heritage. *Microchemical Journal*. (2017).
4. Carp, O., Huisman C.L., and Reller A., Photoinduced reactivity of titanium oxide. *Prog. Solid State Chem.*, **32**. 33-177. (2004).
5. Chaudhari, S. B., Mandot, A. A. and Patel, B.H., Effect of nano TiO₂ pretreatment on functional properties of cotton fabric. *International Journal of Engineering Research and Development*. (2012).
6. Choi, E. Stathatos, D. D. Dionysiou. Synthesis of nanocrystalline photocatalytic TiO₂ thin films and particles using sol-gel method modified with nonionic surfactants. *Thin Solid Films*. (2006).
7. Crissiê, D., Zanrosso., Lansarin, Marla., Application Of Polycarboxylic Acids As Binders For TiO₂ Immobilization On Cotton Textiles. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. (2018).
8. Effendi Mukhtar., Bilalodin., Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis TiO₂ Doping Nitrogen yang Disiapkan dengan Metode Spin Coatin. Prosiding. ISSN : **0853-0823**,106-109. (2012).
9. Fauriani, Reni., Aritonang, Anthoni., Harlia. Sintesis dan Karakterisasi TiO₂/Ti Terdoping Fe(III) Menggunakan Metode Anodisasi In-Situ. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. (2019).
10. Gunlazuardi, J., Fotokatalisis pada Permukaan TiO₂ : Aspek Fundamental dan Aplikasinya, ykrisna@ui.edu., Universitas Indonesia, Jakarta. (2001).
11. Grundmann, Marius., The Physics of Semiconductors An Introduction Including Nanophysics and Applications Third Edition. *Springer*. (2016).
12. Harya, Ibrahim., Izinilah, Fitriyanti., Rizkina, Ismi., Slamet. Study of self cleaning fabric modified by Cu doped TiO₂ with the addition of tetraethyl orthosilicate (TEOS). *American Institute of Physics*. (2018).
13. Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W., & Bahnemann, D. W. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. *Chemical Reviews*. (1995).
14. Hu, x., Taicheng, A., Maolin, Z., Guoying, S., and Jaimo, F., Preparation and Photocatalytic Activities of Fe³⁺ Doped Nanometer TiO₂ Composites. *J. Chem. Environ. Res.*, **11(4)**, 13-21. (2007).
15. Hung, Wen Chi., Chen, Yu Chun., Chu, Hsin., Tseng, Tingke. Synthesis and characterization of TiO₂ and Fe/TiO₂ nanoparticles performance for photocatalytic degradation of 1,2-dichloroethane. *Elsevier*. (2008).
16. Ibrahim, Mohamed., Meznia, Amine., dkk. Direct Z-scheme of Cu₂O/TiO₂ enhanced self-cleaning, antibacterial activity, and UV protection of cotton fiber under sunlight. *Elsevier*. (2019).
17. J. Choi, H. Park, and M. R. Hoffmann., Effects of single metal-ion doping on the visible-light photoreactivity of TiO₂. *The Journal of Physical Chemistry C* vol. **114**. pp. 783-792. (2009).
18. Karimi, Loghman., Mirjalili, Mohammad., dkk. Effect of Nano TiO₂ on Self-cleaning Property of Cross-linking Cotton Fabric with Succinic Acid Under UV Irradiation. *Islamic Azad University*. (2010).

19. Kumar B S., Self-cleaning finish on cotton textile using sol-gel derived TiO₂ nano finish. *IOSR-JPTE* **2(1)** 2348-0181. (2015).
20. Lee, C.-S., Kim, J., Son, J. Y., Choi, W., & Kim, H. Photocatalytic functional coatings of TiO₂ thin films on polymer substrate by plasma enhanced atomic layer deposition. *Applied Catalysis B: Environmental*. (2009).
21. M Kulkarni., A Mazare.,6, E Gongadze. dkk., Titanium nanostructures for biomedical applications. *Nanotechnology*. **26**. 062002. (2015).
22. Montazer, M., Lessan, F., Moghadam, M.B. Nano-TiO₂/maleic acid/triethanol amine/sodium hypophosphite colloid on cotton to produce crosslinking and self-cleaning properties. *Journal of The Textile Institute*. (2012).
23. Meilert K., Laun D., Kiwi J. Photocatalytic self-cleaning of modified cotton textiles by TiO₂ clusters attached by chemical spacers. *J Mol Catal A Chem*. (2005).
24. Othman, Hajar., Abdul, Suraya., Ghazi, Mohd., Abdullah, Norhafizah. Fe-Doped TiO₂ Nanoparticles Produced via MOCVD: Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity. *Hindawi Publishing Corporation*. (2011).
25. Park, J. H., Kim, S., Bard, A. J., Novel carbon-doped TiO₂ nanotube arrays with high aspect ratios for efficient solar water splitting. *Nano Letters*. **6(1)**. 24-28. (2006).
26. Petica, Aurora., Gaidau, Carmen., Ignat, Madalina., dkk. Doped TiO₂ nanophotocatalysts for leather surface finishing with self-cleaning properties. *J. Coat. Technol. Res*. (2015).
27. Pirkarami, A., Olya, M. E., Farshid, S. R., UV/Ni-TiO₂ nanocatalyst for electrochemical removal of dyes considering operating costs. *Water Resources and Industry*. **5**. 9–20. (2014).
28. Riyani, Kapti., Setyaningtyas, Tien., Windy, Dian. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis TiO₂-Cu Aktif Sinar Tampak. *Prosiding Seminar Nasional*. (2012).
29. Saad, Rohani., Mahmed, Norsuria., Abdullah, Mohd., Sand, Victor. Self-Cleaning Technology in Fabric: A Review. *Materials Science and Engineering* **133**. (2016).
30. Sayyar, Zahra., Akbar, Ali., Rahbar, Javad. Kinetic Study of Formic Acid Degradation by Fe³⁺ doped TiO₂ Self-Cleaning Nanostructure Surfaces Prepared by Cold Spray. *Elsevier*. (2015).
31. Sathishkumar, P., Anandan, S., Maruthamuthu, dkk., Synthesis of Fe³⁺ Doped TiO₂ Photocatalysts for The Visible Assisted Degradation of Azo Dye. *Colloid Surface A*. **375**. 231-236. (2011).
32. Sun, X., Liu, H., Dong, J., Wei, J., dan Zhang, Y., Preparation and Characterization of Ce/N-Codoped TiO₂ Particles for Production of H₂ by Photocatalytic Splitting Water Under Visible Light. *Catal. Lett.*, **135**, 219-225. (2010).
33. Tang, W., Xiaa, J., Chena, X., dkk., Preparation of an Fedoped visible-light-response TiO₂ film electrode and its photoelectrocatalytic activity. *Materials Science and Engineering B*. **234**, 860–869. (2014).
34. Tang, X., and Li, D., Sulfur-doped highly ordered TiO₂ nanotubular arrays with visible light response. *Journal of Physical Chemistry C*. **112 (14)**. 5405-5409. (2008).
35. Tong, Y., Xiao, Y. Z., Qingyun, W., and Xinjian, X. The Adsorption Mechanism of Platinum on Phosphorus-Doped Single Walled Carbon Nanotube. *Computational and Theoretical Chemistry*. pp 1-6. (2015).
36. Wang, RongHua., Wang, XiaoWen., Xin, John. Advanced Visible-Light-Driven Self-Cleaning Cotton by Au/TiO₂/SiO₂ Photocatalysts. *Applied Materials & Interfaces*. (2010).
37. Wu, H., and Zhang, Z., High photoelectrochemical water splitting performance on nitrogen doped double-wall TiO₂ nanotube array electrodes. *International Journal of Hydrogen Energy*. **36**. 13481-1387. (2011).
38. Yang, K., Wenhong, P., Yuanbin, T., dkk., Enhanced photoelectrocatalytic activity of Cr-doped TiO₂ nanotubes modified with polyaniline. *Materials Science in Semiconductor Processing*. **27**. 777–784. (2014).
39. Yu, Y., Wu, H-H., Zhu, B. L., Wang, dkk., Preparation, characterization and photocatalytic activities of F-doped TiO₂ nanotubes. *Catalysis Letters*. **121(1)**, 165-171. (2009).
40. Yuniarto, Angga., Kartika, Dina. Self Cleaning Activities On Cotton Fabric Coated TiO₂ With Binder Oxalic Acid. *UNESA Journal of Chemistry*. (2019).
41. Zaleska, Adriana., Doped-TiO₂: A Review. *Engineering*. **2**. 157-164. (2008).
42. Zanolso, Crissie., Piazza, Diego., Lansarin, Marla., Polymeric hybrid films with photocatalytic activity under visible light. *Inc. J. Appl. Polym. Sci*. **135**, 4636. (2018).
43. Zahid, Muhammad., Papadopoulou, Evie., Suarato, Giulia. dkk. Fabrication of Visible Light-induced Antibacterial and Self-Cleaning Cotton Fabrics Using Manganese Doped TiO₂ Nanoparticles. *ACS Appl. Bio Material*. (2018).
44. Zhang, Yufei ., Shen, Huiyuan., Liu, Yanhua. Synergistic effects of F and Fe in co-doped TiO₂ nanoparticles. *Springer*. (2016).

PENYEMPURNAAN ANTI ULTRAVIOLET PADA KAIN POLIESTER-RAYON DENGAN IMPREGNASI SENG OKSIDA DAN IMPLEMENTASINYA DI INDUSTRI TEKSTIL

ANTI ULTRAVIOLET FINISHING OF POLYESTER-RAYON FABRIC USING IMPREGNATION OF ZINC OXIDE AND ITS IMPLEMENTATION IN TEXTILE INDUSTRY

Herman Fitrianto, Jakariya Nugraha, Doni Sugiyana

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
E-mail: herman_f@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Peningkatan kemampuan kain untuk memproteksi pengaruh negatif radiasi ultraviolet (UV) dapat diperoleh melalui proses penyempurnaan menggunakan seng oksida (ZnO). Dalam penelitian ini telah dilakukan penyempurnaan kain poliester-rayon menggunakan suspensi ZnO dengan metode impregnasi (*padding*) untuk memperoleh sifat anti- ultraviolet dan *scale-up* proses pada skala industri. Percobaan variasi konsentrasi ZnO dalam suspensi dilakukan melalui proses *pad-dry-cure* skala laboratorium. Formulasi optimum selanjutnya diimplementasikan pada proses *padding* di industri penyempurnaan tekstil. Evaluasi dilakukan terhadap pengaruh konsentrasi ZnO pada morfologi kain menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dan performa anti-UV melalui pengukuran *ultraviolet protection factor* (UPF). Penyempurnaan kain poliester-rayon menggunakan suspensi dengan konsentrasi ZnO 4,0% dapat mencapai nilai UPF hingga 21,2 dengan peningkatan sebesar 35%. *Scale-up* proses di industri dengan formulasi sama hanya mencapai nilai UPF hingga 18,1 dengan peningkatan sebesar 15,3%.

Kata kunci: anti ultraviolet, penyempurnaan, poliester-rayon, seng oksida, impregnasi.

ABSTRACT

Enhancement of fabric ability to protect the negative effects of ultraviolet (UV) radiation can be obtained through finishing process using zinc oxide (ZnO). In this research, the finishing of polyester-rayon fabric using zinc oxide (ZnO) suspension through impregnation (padding) method to achieve anti-ultraviolet performance and scale-up process in industrial scale have been carried out. Experiment for variation of ZnO concentration in the suspension was carried out through laboratory scale pad-dry-cure process. Optimized formulation therefore implemented at padding process in textile finishing industry. Evaluation has been carried out to the effect of concentration of ZnO to the fabric morphology using scanning electron microscopy (SEM) and anti-UV performance through ultraviolet protection factor (UPF) measurement. Finishing of polyester-rayon fabric using suspension contains 4% ZnO concentration obtains ultraviolet protection factor (UPF) value up to 21,2 with enhancement of 35%. Industrial scale-up process using similar formulation only achieve UPF value up to 18.1 with enhancement of 15,3%.

Keywords: anti-ultraviolet, finishing, polyester-rayon, zinc oxide, impregnation.

PENDAHULUAN

Radiasi sinar ultraviolet (UV) dapat menyebabkan berbagai efek negatif berupa kerusakan/dekomposisi pada material dan kesehatan kulit manusia, apabila tidak dilindungi.¹ Selain itu, diketahui bahwa efek rumah kaca dan fenomena penipisan lapisan ozon terus meningkat setiap tahun, menyebabkan jumlah total radiasi UV yang mencapai permukaan bumi terus bertambah.^{2,3} Penggunaan material tekstil telah berkembang dari tekstil sandang konvensional sandang menjadi tekstil sandang fungsional yang diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti fashion, medis, olahraga, militer dan sebagainya. Salah satu fungsi pada kain sandang fungsional adalah fungsi proteksi terhadap radiasi UV.

Kemampuan material kain dalam fungsi proteksi UV dipengaruhi oleh sifat daya serap (absorpsi) UV oleh bahan aktif yang diimmobilisasikan pada material tekstil. ZnO adalah salah satu absorber anorganik yang paling banyak digunakan dalam studi proteksi radiasi UV dengan daya absorpsi yang kuat pada rentang panjang gelombang UV 290 – 360 nm.^{4,5,6} Senyawa ZnO memiliki spektrum absorpsi UV pada rentang panjang gelombang relatif lebih lebar dibandingkan dengan absorber UV anorganik lain, sehingga lebih

banyak digunakan.^{7,8,9} Immobilisasi ZnO pada berbagai jenis kain dapat dilakukan dengan mengaplikasikan beberapa metode antara lain: *spinning*, *coating*, *padding* dan sebagainya.^{10,11,12}

Penyempurnaan fungsional anti-UV pada kain kapas dan poliester telah dilakukan penulis pada studi sebelumnya.^{13,14} Penggunaan metode impregnasi ZnO dengan proses *pad-dry-cure* terbukti mampu meningkatkan kemampuan kain dalam memproteksi radiasi UV dengan peningkatan nilai UPF (*ultraviolet protection factor*). Penyempurnaan fungsional anti UV masih perlu dipelajari pada jenis kain lainnya, serta perlu dievaluasi juga efisiensi hasil yang diperoleh apabila proses skala laboratorium diimplementasikan pada skala industri. Dalam penelitian ini telah dilakukan penyempurnaan kain poliester-rayon melalui impregnasi (*padding*) suspensi ZnO skala laboratorium dan *scale-up* proses pada skala industri. Studi ini bertujuan untuk memperoleh informasi performa proteksi anti UV kain poliester-rayon setelah impregnasi ZnO skala laboratorium dan perubahan performa setelah implementasi proses penyempurnaan skala industri.

METODE

Bahan dan peralatan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: kain poliester/rayon (gramasi 150,6 gram/m²) yang telah diproses celup (PT Trisula Textile Industry), seng oksida (Nanocenter Serpong), binder poliakrilat (Rudolph), zat pendispersi polietilen glikol/PEG (Merck), dan air demineralisasi (Brataco). Peralatan laboratorium yang digunakan adalah: mesin *pad-dry-cure* (Werner Mathis AG), magnetic stirrer, sonikator dan oven. Proses penyempurnaan *padding* skala industri dilakukan di industri tekstil pencelupan dan penyempurnaan PT Trisula Textile Industry.

Preparasi suspensi ZnO

Impregnasi ZnO pada sampel kain poliester-rayon dengan proses *pad-dry-cure* diawali dengan menyiapkan suspensi dengan komposisi ZnO, binder dan zat pendispersi. Dalam percobaan skala laboratorium, suspensi disiapkan dengan variasi komposisi ZnO (0,0 – 1,0 – 2,0 – 3,0 – 4,0) %. Konsentrasi binder poliakrilat dan zat pendispersi PEG dalam suspensi mengikuti konsentrasi optimum berdasarkan studi penulis sebelumnya masing-masing sebesar 5% dan 0,1%.¹⁵ Untuk percobaan skala industri, komposisi yang digunakan dalam larutan untuk konsentrasi ZnO, binder poliakrilat dan zat pendispersi PEG masing-masing adalah 4,0%, 5% dan 0,1%.

Proses *pad-dry-cure*

Proses *pad-dry-cure* skala laboratorium dilakukan pada sampel kain dengan ukuran 40 cm x 32 cm. Pada proses *padding*, kain diimpregnasi pada larutan suspensi ZnO kemudian diperas pada wpu (*wet pick-up*) 90%. Kain yang telah diimpregnasi dikeringkan dengan proses *drying* pada temperatur 110°C selama 5 menit. Sampel kain kemudian difiksasi dengan proses *curing* pada temperatur 150°C selama 3 menit. Kain yang telah diberi perlakuan selanjutnya dibiarkan pada temperatur ruang. Kain yang telah dicuring dicuci ultrasonik selama 10 menit untuk melepaskan nano ZnO yang tidak menempel pada kain.

Proses *pad-dry-cure* skala industri dilakukan dengan menggunakan kain berukuran 1500 cm x 110 cm. Larutan *padding* disiapkan pada bak berukuran 100 liter, dengan setting proses pada wpu 90%. Proses *drying* dilakukan pada temperatur 110°C, dilanjutkan dengan proses *thermosetting* pada temperatur 150°C. Proses penyempurnaan di industri menggunakan jenis mesin dan setting proses penyempurnaan yang sudah distandardisasi untuk proses produksi komersial.

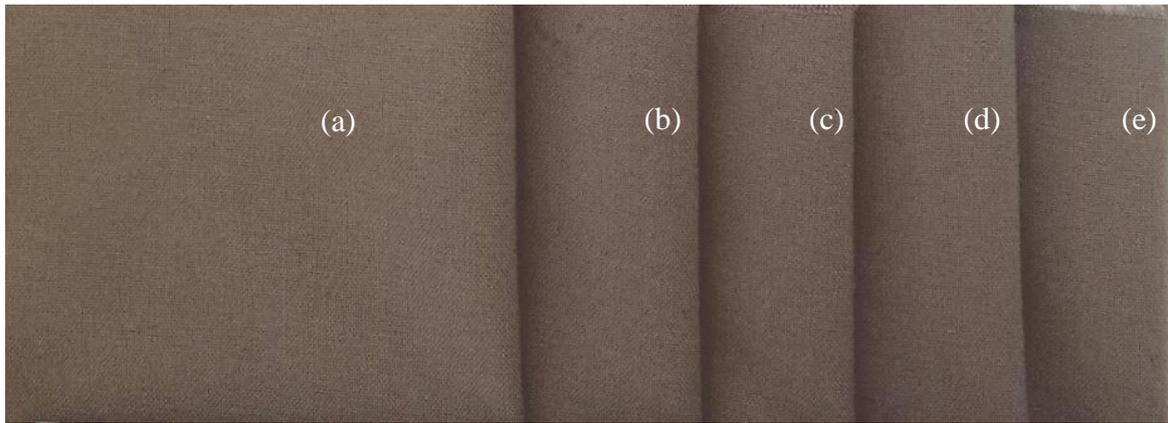
Pengujian dan karakterisasi

Evaluasi karakteristik dan morfologi kain anti UV menggunakan instrumen *scanning electron microscopy/SEM* (JEOL, JSM 6510, Japan). Evaluasi sifat proteksi UV sampel kain hasil percobaan dilakukan melalui pengujian *ultraviolet protection factor* (UPF) mengikuti standard AS/NZS 4399: 2017.

HASIL DAN PEMBAHASAN

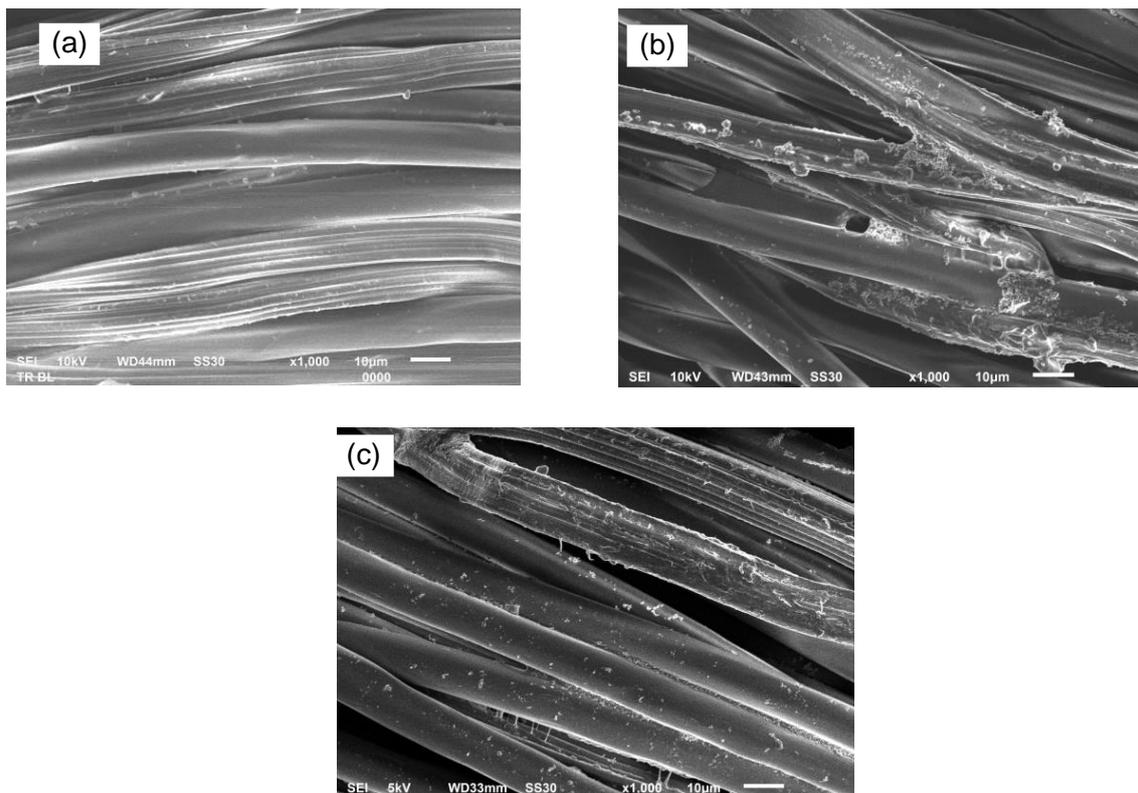
Morfologi kain dengan variasi konsentrasi ZnO

Variasi konsentrasi ZnO pada suspensi dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi karakter distribusi partikel pada beberapa nilai konsentrasi ZnO yang pada sampel kain setelah diaplikasikan dengan bantuan binder melalui proses *pad-dry-cure*. Evaluasi pada sampel kain dilakukan setelah perlakuan dengan variasi konsentrasi meliputi foto dan citra SEM. Hingga konsentrasi ZnO 4,0% distribusi partikel masih relatif homogen tanpa perubahan warna pada kain yang signifikan. Tampilan visual sebelum dan setelah perlakuan pada sampel kain poliester-rayon diperlihatkan pada Gambar 1. Secara visual tidak tampak gumpalan/bercak putih dan beda warna yang signifikan pada seluruh sampel.



Gambar 1. Penampakan visual sampel kain poliester-rayon dengan variasi konsentrasi ZnO: a) blanko; b) 1,0%; c) 2,0%; d) 3,0%; e) 4,0%.

Hasil pengamatan citra SEM hasil percobaan untuk sampel poliester-rayon (Gambar 3) memperlihatkan adanya peningkatan distribusi partikel ZnO pada permukaan serat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ZnO. Citra SEM menunjukkan bahwa meskipun partikel ZnO cenderung mengalami aglomerasi, namun masih terdistribusi cukup merata pada permukaan serat. Salah satu kelebihan partikel ZnO adalah memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih sempit (20-40 nm) dibanding senyawa oksida lain sehingga memungkinkan distribusi lebih seragam.¹⁶



Gambar 2. Citra SEM sampel kain poliester-rayon pada percobaan variasi konsentrasi ZnO: a) blanko; b) 1,0%; c) 4,0%. (Perbesaran 1000x).

Evaluasi performa proteksi anti-UV

Evaluasi terhadap hasil proses penyempurnaan kain dalam penelitian ini adalah dengan menguji respon kain terhadap pengaruh radiasi UV melalui pengukuran nilai UPF. Pengukuran nilai UPF dilakukan pada sampel kain blanko, sampel kain yang mengandung binder dan sampel kain yang mengandung binder dan ZnO. Hasil uji UPF pada sampel kain ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji UPF sampel kain

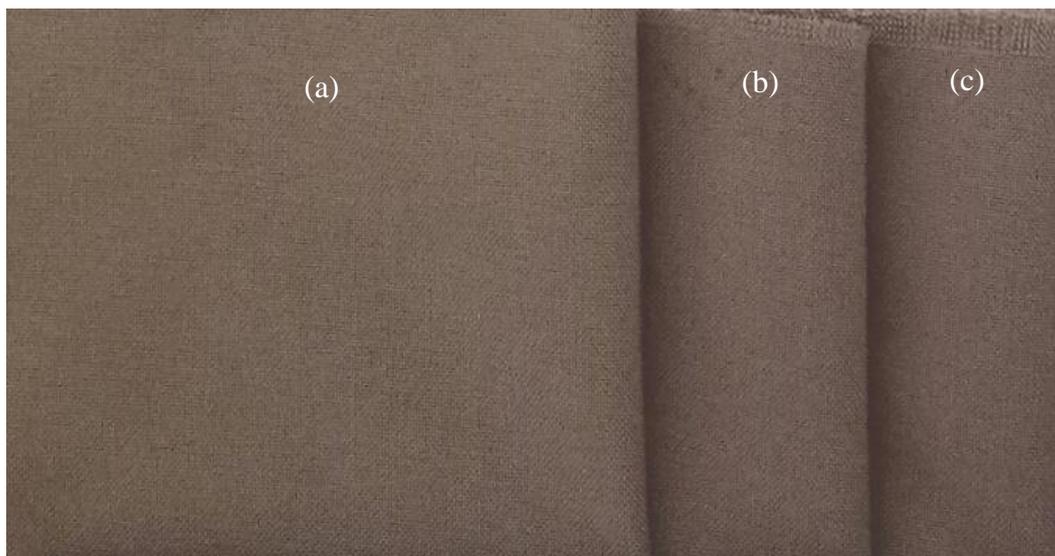
No	Sampel kain	Nilai UPF
1	Kain blanko	15,7
2	Kain + binder	15,9
3	Kain + binder + ZnO 1%	18,3
4	Kain + binder + ZnO 2%	19,7
5	Kain + binder + ZnO 3%	20,1
6	Kain + binder + ZnO 4%	21,2

Berdasarkan hasil pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa penambahan ZnO berpengaruh signifikan pada nilai UPF. Penambahan binder pada blanko sampel kain berkontribusi pada peningkatan nilai UPF hanya sebesar 1,3%, sedangkan penambahan ZnO 1% pada blanko kain dengan bantuan binder mampu meningkatkan nilai UPF hingga 16,6%. Peningkatan konsentrasi ZnO lebih lanjut hingga 4% mampu meningkatkan nilai UPF hingga 35%. Hasil uji UPF pada sampel kain poliester-rayon mengindikasikan bahwa penambahan ZnO sebagai agen aktif anti-UV berpengaruh signifikan pada peningkatan kemampuan material kain dalam memproteksi kain dari radiasi UV.

Kemampuan ZnO dalam memproteksi kain terjadi melalui mekanisme absorpsi radiasi sinar UV. Absorpsi radiasi UV oleh partikel ZnO dapat berlangsung melalui beberapa skema antara lain dengan menghilangkan intensitas UV dan dengan atenuasi sinar UV.¹⁷ Penghilangan intensitas radiasi UV terjadi melalui konversi energi cahaya menjadi bentuk lain seperti panas melalui proses eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sedangkan atenuasi radiasi UV dapat terjadi melalui absorpsi *band gap* dan penyebaran (*scattering*) sinar UV.¹⁸

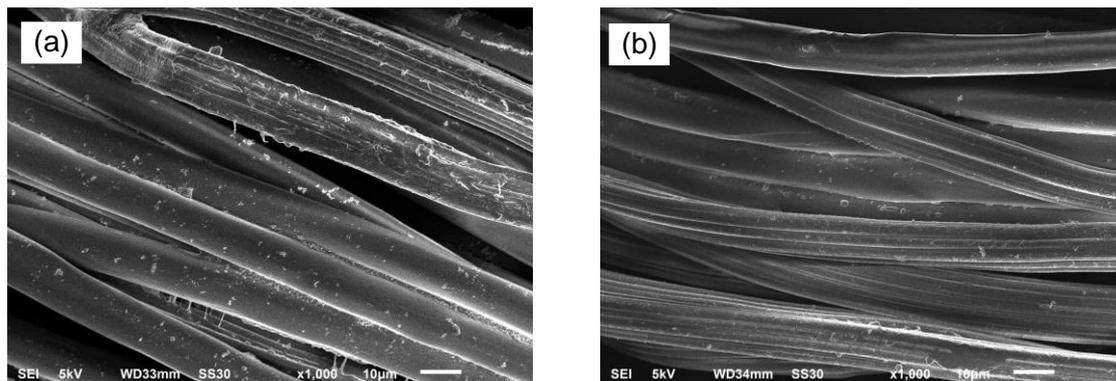
Scale-up proses finishing di skala industri

Evaluasi lebih lanjut dilakukan terhadap sampel kain yang diperoleh dari *scale-up* proses penyempurnaan kain pada skala industri. Tampilan visual sampel kain poliester-rayon blanko, sampel kain skala laboratorium (ZnO 4%) dan sampel kain skala industri (ZnO 4%) diperlihatkan pada Gambar 3. Pada konsentrasi ZnO 4,0%, distribusi partikel pada sampel dengan proses penyempurnaan skala industri masih relatif homogen tanpa perubahan warna pada kain yang signifikan. Secara visual tidak tampak gumpalan/bercak putih dan beda warna yang signifikan pada seluruh sampel. Hal ini mengindikasikan proses pendispersian partikel ZnO dalam suspensi berlangsung cukup baik, sehingga formulasi skala laboratorium dapat diaplikasikan pada skala industri.



Gambar 3. Penampakan visual sampel kain poliester-rayon: a) blanko; b) skala lab; c) skala industri.

Hasil pengamatan citra SEM hasil percobaan untuk sampel poliester-rayon (Gambar 4) memperlihatkan distribusi partikel ZnO yang cukup merata pada permukaan serat konsentrasi ZnO 4,0%. Citra SEM menunjukkan bahwa penyebaran partikel ZnO pada sampel kain hasil penyempurnaan skala industri meskipun lebih merata namun cenderung mengalami penurunan densitas perlekatan partikel ZnO.



Gambar 4. Citra SEM sampel kain poliester-rayon pada percobaan penyempurnaan: a) skala lab; b) skala industri

Pengukuran nilai UPF dilakukan pada sampel kain blanko (tanpa binder) dan sampel kain hasil penyempurnaan di industri (mengandung binder dan ZnO). Hasil uji UPF pada sampel kain ditunjukkan pada Tabel 2. Pada penggunaan konsentrasi ZnO 4%, sampel kain percobaan skala laboratorium mampu meningkatkan nilai UPF kain blanko sebesar 35%. Pada konsentrasi ZnO yang sama, percobaan skala industri hanya mampu meningkatkan nilai UPF hingga 18,1 dengan peningkatan sebesar 15,3%.

Tabel 2. Hasil uji UPF sampel kain percobaan skala laboratorium dan skala industri

No	Sampel kain	Nilai UPF
1	Kain blanko	15,7
2	Kain + binder + ZnO 4% (skala lab)	21,2
3	Kain + binder + ZnO 4% (skala industri)	18,1

Penurunan performa proteksi anti UV pada sampel skala industri dibandingkan dari sampel skala laboratorium dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor homogenitas suspensi perlu dievaluasi kembali, mengingat waktu pencampuran seluruh formulasi dalam volume suspensi yang lebih besar seharusnya lebih lama dibandingkan volume suspensi pada percobaan laboratorium. Selain itu, efektivitas zat pendispersi dalam mendispersikan partikel ZnO pada desain bak *padding* di industri perlu dievaluasi kembali. Kemungkinan adanya fraksi partikel ZnO yang mengendap dapat diakibatkan oleh waktu jeda antara pembuatan suspensi dan kontak dengan kain. Hal ini memerlukan evaluasi lebih lanjut dengan upaya peningkatan kestabilan dispersi di laboratorium.

KESIMPULAN

Penyempurnaan kain poliester-rayon untuk memperoleh kain fungsional anti-UV menggunakan suspensi ZnO dengan metode impregnasi (*padding*) telah berhasil dilakukan. Berdasarkan pengamatan morfologi kain, penggunaan konsentrasi ZnO hingga 4,0% pada sampel kain skala laboratorium menghasilkan distribusi partikel ZnO yang cukup seragam, mencapai nilai UPF hingga 21,2 dengan peningkatan sebesar 35%. *Scale-up* proses di industri dengan formulasi sama menghasilkan distribusi partikel ZnO yang juga seragam, namun hanya mencapai nilai UPF hingga 18,1 dengan peningkatan sebesar 15,3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Kim, Y.K. (2015). Ultraviolet protection finishes for textiles. *Functional finishes for textile*: 464-485.
- WHO (2006), Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation, *Environmental burden of disease series* **13**, p. 4.
- Dutra, E.A., Oliveira, D.A., Hackmann, E.R., & Santoro, M.I., (2004). Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, **40**(3) : 381 – 385.
- Li, H., Deng H. & Zhao, J. (2009). Performance research of polyester fabric treated by nano titanium dioxide (nano-TiO₂) anti-ultraviolet finishing. *International Journal of Chemistry* 1(1) pp. 57 – 62.
- Dastjerdi, R., Montazera, M., & Shahsavan, S., (2010). A novel technique for producing durable multifunctional textiles using nanocomposite coating. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 81 pp. 32–41.
- Ibrahim, N.A., El-Zairy, E.M.R., Abdalla, W.A., & Khalil, H.M. (2013), Combined UV-protecting and reactive printing of Cellulosic/wool blends, *Carbohydrate Polymers* **92** pp. 1386– 1394.

7. Selishchev, D.S., Karaseva, I.P., Uvaev, V.V., Kozlov, D.V., & Parmon, V.N. (2013). Effect of preparation method of functionalized textile materials on their photocatalytic activity and stability under UV irradiation. *Chemical Engineering Journal* **224** pp.114–120.
 8. Zayat , M. , Garcia-Parejo , P. & Levy , D. (2007), Preventing UV-light damage on light sensitive materials using a highly protective UV-absorbing coating, *Chemical Society Reviews*, **36** , 1270 – 1281 .
 9. Lu, (2014), Fabrication of CeO₂ Nanoparticle-modified Silk for UV Protection and Antibacterial Applications
 10. Scalia, S., Tursilli, R., Bianchi, A., Lo-Nostro, P., Bocci, E., Ridi, F. & Baglioni, P. 2006, Incorporation of the sunscreen agent, octyl methocycinnamate in a cellulosic fabric grafted with b-cyclodextrin. *International Journal of Pharmaceutics*, 308, pp. 155–159.
 11. Mahltig, B., Böttcher, H., Rauch, K., Dieckmann, U., Nitsche, R. & Fritz, T. 2005, Optimized UV protecting coatings by combination of organic and inorganic UV absorbers, *Thin Solid Films*, **485**(1-2), pp. 108-114.
 12. Innes, B., Tsuzuki, T., Dawkins, H., Dunlop, J., Trotter, G., Nearn, M.R. & McCormick, P.G. 2002, Nanotechnology and the cosmetic chemist, *Cosmetics, Aerosols and Toiletries in Australia*, 15 (10-12) pp. 21-24.
 13. Sugiyana, D., Septiani, W., Mulyawan, A.S., & Wahyudi, T. (2017). Immobilisasi nanopartikel ZnO pada kain atap kapas dan evaluasi ketahanannya terhadap ultraviolet, *Arena Tekstil* **32** (1) pp.
 14. Sugiyana, D., Septiani, W., Mulyawan, A.S. & Wahyudi, T., (2017). Sintesis nanopartikel ZnO dan immobilisasinya pada kain kapas sebagai absorber ultraviolet, *Arena Tekstil* **32** (2).
 15. Sugiyana, D., Nugraha, J., Mulyawan, A.S., Septiani, W., & Wahyudi, T., (2019), Penyempurnaan kain poliester fungsional anti ultraviolet menggunakan seng oksida dengan metode impregnasi, *Arena Tekstil* **34**(2).
 16. El-Hady, M.M., Farouk, A. & Sharaf, S., (2013), Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids, *Carbohydrate Polymers* **92**, 400– 406.
 17. Sawaji, J. & Yoshikawa, T. (2004), Quantitative evaluation of antifungal activity of metallic oxide powders (MgO, CaO and ZnO) by an indirect conductimetric assay, *Journal of Applied Microbiology*, 96(4), pp. 803-809.
 18. Yadollahia, Gholamalia, I., Namazia, H. & Aghazadeh, M. (2015), Synthesis and characterization of antibacterial carboxymethylcellulose/ZnO nanocomposite hydrogels, *International Journal of Biological Macromolecules* **74**, pp. 136–141.
-

PEMANFAATAN BIOSILIKA DARI ABU SEKAM PADI UNTUK MENINGKATKAN SIFAT HIDROFOBİK PADA KAIN KAPAS METODE *PAD-DRY-CURE*

UTILIZATION OF BIOSILICA FROM RICE HUSK ASH TO IMPROVE HYDROPHOBIC PROPERTIES OF COTTON FABRIC BY PAD-DRY-CURE METHOD

Jantera Sekar Tirta,¹ Juan Prianto²

Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No. 31 Bandung 40272

E-mail: ¹sekarjantera@yahoo.com, ²juanlie2604@gmail.com

ABSTRAK

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang memiliki kandungan silika (SiO_2) yang sangat tinggi dan berpotensi sebagai bahan baku bio-silika. Limbah pertanian ini banyak terdapat di Indonesia dengan jumlah yang melimpah. Abu putih yang diperoleh dari pembakaran sekam padi memiliki kandungan utama yang terdiri dari silika (86-97%). Metode sol-gel digunakan untuk proses ekstraksi biosilika dengan menggunakan NaOH sebagai pelarut dan penambahan asam sitrat untuk menetralkan larutan. Komposisi larutan pada penelitian ini untuk mendapatkan dan meningkatkan sifat hidrofobik kain kapas, yaitu dengan penambahan biosilika dan polidimetilsiloksan (PDMS) dalam ethanol serta asam sitrat untuk mendapatkan suasana asam. Hasil evaluasi sudut kontak mengkonfirmasi bahwa permukaan kain bersifat hidrofobik ($>90^\circ$). Hasil evaluasi setelah proses pencucian menunjukkan sudut kontak dengan hasil yang baik ($>90^\circ$).

Kata kunci: bio-silika, kain kapas, hidrofobik, sudut kontak

ABSTRACT

Rice husk is a product of agricultural waste that contains very high value materials such a silica (SiO_2) and has the potential as a bio-silica raw material. This agricultural waste is widely available in Indonesia with abundant amount. White ash obtained from burning rice husks has the main content consisting of silica (86-97%). The sol-gel method is used for the bio-silica extraction process using NaOH as a solvent and addition of citric acid to neutralize the solution. The composition of the solution in this study to obtain and improve the hydrophobic properties of cotton fabric is the addition of bio-silica and polydimethylsiloxane (PDMS) in ethanol and citric acid to obtain an acidic atmosphere. The evaluation results of the contact angle confirm that the fabric has a hydrophobic surface ($>90^\circ$). The evaluation results after the washing process showed a good contact angle ($>90^\circ$).

Keywords: bio-silica, cotton fabric, hydrophobic, contact angle

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan salah satu komoditi unggulan yaitu padi. Produksi padi yang meningkat menyebabkan peningkatan produk sampingan. Salah satu produk samping dari padi adalah sekam padi. Sekam padi akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa pertanian atau limbah penggilingan pada proses penggilingan padi.¹ Sekam padi didapatkan dari proses penggilingan padi sekitar 20-30% bobot awal gabah.² Sekam padi memiliki nilai gizi yang rendah, bersifat tahan terhadap pelapukan, kandungan abu tinggi, bersifat abrasif, serta memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi.³ Saat sekam padi dibakar, maka akan menghasilkan 17% –20% abu sekam padi.⁴ Komposisi tertinggi pada abu sekam padi merupakan kandungan silika (SiO_2) yaitu sekitar 86,9 – 96,3 %⁵. Silika alam khususnya yang ditemukan di limbah pertanian, dapat digunakan sebagai sumber alternatif untuk menggantikan prekursor silika komersial. Sekam padi yang dibakar pada suhu 400-500°C akan memiliki struktur silika yang *amorphous* dan pada suhu diatas 1000°C akan memiliki struktur kristalin.⁶ Dalam beberapa publikasi, prekursor silika yang umum digunakan secara komersial yaitu berasal dari senyawa alkoksasilan seperti, *tetraethylorthosilicate* (TEOS), natrium silikat, dan *tetramethylorthosilicate*.

Silika yang didapatkan dari sumber sekam padi kemudian dimanfaatkan sebagai zat untuk membuat permukaan kain atau material memiliki sifat hidrofobik. Sifat ini dapat dicapai dengan penerapan zat berbasis silika pada material sehingga dapat bertindak sebagai pengubah kekasaran dan memberikan energi reaksi permukaan rendah, menggunakan metode semprot, *dip-coating*, pemrosesan sol-gel, dan sintesis hidrotermal.⁷ Sifat hidrofobik dapat diukur dengan menentukan sudut kontak dari cairan dan permukaan material. Hal ini

didefinisikan sebagai sudut antara garis singgung bidang ke tetesan cairan dengan bidang permukaan tepat pada posisi cairan disimpan.⁸ Zat berbasis silika dari sekam padi kemudian diaplikasikan pada kain kapas. Kain kapas digunakan pada penelitian ini karena merupakan salah satu material yang paling umum digunakan dalam industri dan dipakai untuk rumah tangga sejak zaman kuno karena memiliki karakteristik yang diinginkan, yaitu nyaman ketika dipakai, lembut, fleksibel, bersifat hidrofilik, dan ramah lingkungan.⁹ Kain ini memiliki sifat superamphiphilik, yaitu dapat menyerap air dan minyak. Beberapa kelemahan kain ini yaitu memiliki ketahanan noda terhadap cairan yang rendah dan selektivitas yang buruk dalam penyerapan cairan.¹⁰ Sifat hidrofobik dari kain kapas dapat diperoleh dan ditingkatkan selama proses silikasi dengan memodifikasi permukaan lapisan silika pada material, yaitu proses penggantian gugus silanol pada permukaan silika dengan gugus alkil.¹¹

Pemilihan zat berbasis silika pada penelitian ini dikarenakan harganya yang murah serta kekayaan kandungannya. Umumnya teknik pembuatan kain anti air menggunakan zat berbasis paraffin lilin, senyawa piridinium, resin silikon, atau fluorokarbon. Namun kekurangan dari zat berbasis senyawa fluoroalkyl tersebut berbahaya bagi lingkungan, bahan berbiaya lebih tinggi dan potensi risiko kesehatan manusia jika terjadi kontak kulit. Biasanya, sudut kontak yang didapatkan dari penggunaan zat berbasis fluor berkisar antara 120-130°. Pengukuran sudut kontak merupakan salah satu evaluasi yang penting dilakukan untuk mengetahui lapisan/material mana yang lebih bersifat hidrofobik. Permukaan yang bersifat hidrofobik memiliki sudut kontak besar dari 90°.¹²

Pada saat ini untuk mengembangkan produk yang ramah lingkungan, tahan lama, berkelanjutan, sifat hidrofobik pada kain kapas dengan stabilitas mekanis yang baik, metode dengan biaya rendah masih menjadi hal yang menantang. Pada penelitian ini, dilakukan metode yang sederhana dan efektif untuk mendapatkan sifat hidrofobik dari permukaan kain kapas yang tahan terhadap pencucian menggunakan kandungan silika yang berasal dari abu sekam padi, kemudian pengaruhnya terhadap sifat hidrofobiknya dievaluasi sebagai sudut kontak. Untuk meningkatkan durabilitas dari permukaan hidrofobik maka silika yang didapatkan dicampurkan dengan polidimetilsiloksan.

METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sekam padi berasal dari Bogor, Jawa Barat, bahan kimia polidimetilsiloksan (PDMS) dari Wacker. NaOH, HCl dan ethanol berkualitas p.a dari Merck, asam sitrat berkualitas teknis, air suling digunakan dalam percobaan, kain katun warna putih dari Primmisima, dan kertas saring Whatman no. 41.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi wadah plastik, pengaduk, piala gelas 500 mL, *hot plate magnetic stirrer*, corong, gelas ukur 50 mL, termometer, tanur, oven, saringan plastik, dan pipet tetes.

Preparasi abu sekam padi

Abu sekam padi didapatkan dari sekam padi yang dibakar dengan suhu tinggi. Tahap awal yang dilakukan yaitu sekam padi dicuci terlebih dahulu dengan air sebanyak tiga kali. Kemudian 5,0 g sekam padi ditambahkan dengan 30 mL HCl 1 N dan dipanaskan dengan suhu 100°C selama 2 jam.¹³ Setelah proses tersebut sekam dicuci dengan air sampai pH netral. Sekam padi dibakar dengan suhu 750°C dengan tanur selama 3 jam.¹⁴

Preparasi ekstraksi biosilika

Abu sekam padi ditambahkan NaOH 1,5 M dengan perbandingan 1:5. Sampel kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam dengan pengadukan konstan, sehingga didapatkan larutan natrium silikat.¹⁵ Diendapkan dan kemudian disaring dengan kertas saring Whatman no. 41. Filtrat yang telah didapatkan ditambahkan asam sitrat 1 N untuk penyesuaian pH dalam kisaran dari 4 hingga 5 hingga terbentuk silika gel.¹⁶ Ethanol ditambahkan sebanyak 10ml dan PDMS dengan perbandingan 1:1:10 (silika gel:PDMS:Ethanol) dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit.

Aplikasi biosilika gel pada kain kapas

Sampel kain kapas yang telah dipotong dengan ukuran 10x10 cm direndam dalam larutan campuran biosilika selama 30 menit sambil sesekali diaduk menggunakan batang pengaduk. Kemudian dilakukan proses *pad-dry-cure*. Proses peras dilakukan dengan *wpu* 70%, pengeringan pada 110°C selama 3 menit dan proses pemantapan pada 140°C selama 3 menit. Kain yang telah diproses selanjutnya dilakukan pencucian dengan menggunakan detergen dengan konsentrasi 2 g/L selama 10 menit.¹⁷ Setelah dilakukan pencucian terhadap sampel dilakukan pengeringan dan pemantapan panas.

Evaluasi pengukuran sudut kontak

Sudut kontak diukur pada kain dengan ditetaskan air menggunakan pipet tetes. Gambar diambil menggunakan kamera belakang ponsel merek Iphone 8 dengan sensor 12 MP. Analisis sudut kontak dilakukan menggunakan aplikasi ImageJ menggunakan plugin LBADSA.¹⁸

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, digunakan sekam padi sebagai sumber silika untuk meningkatkan sifat hidrofobik dari kain kapas. Silika dari sekam padi disintesis dengan menggunakan metode sol-gel. Tahap awal proses pembuatan silika adalah dengan mencuci sekam padi dengan air, hal ini dilakukan untuk membersihkan kotoran-kotoran yang tertinggal seperti tanah ataupun pasir. Kemudian dilakukan proses *leaching* dengan menggunakan HCl selama 3 jam dengan suhu 100°C. Proses pencucian dilakukan kembali dengan air bersih untuk menetralkan sekam padi. Proses pengeringan sekam padi dengan cara dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100 °C. Hasil sekam padi yang telah dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 1. a. Sekam padi yang telah kering kemudian dikalsinasi dalam tanur pada suhu 750 °C selama 3 jam. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kemurnian kandungan silika dalam sampel abu yang lebih tinggi karena dapat mengurangi kandungan oksida logam.¹⁹ Untuk menghilangkan kandungan kalium dan karbon dari abu sekam padi biasanya terjadi setelah pembakaran pada suhu tinggi.²⁰ Hasil abu sekam padi dapat dilihat pada Gambar 1. b. Hasil rendemen abu yang didapatkan dari proses pembakaran yaitu sebesar 23%.

Sekam padi yang telah diubah bentuknya menjadi abu selanjutnya diekstrak menjadi natirum silikat dengan penambahan NaOH. Kemudian larutan natrium silikat yang didapatkan memiliki pH 14 diubah menjadi bentuk gel dengan penambahan asam sitrat. Pada tahap ini hal yang perlu diperhatikan ketika pembuatan gel yaitu penambahan asam sitrat pada larutan natrium silikat. Ketika asam ditambahkan maka saat mencapai pH 10 akan terbentuk gel yang kaku, namun proses ini dilanjutkan sampai pH 7 atau netral didapatkan. Penambahan asam yang berlebih sampai dengan pH 4 akan membuat gel lebih lembut, namun hal ini tidak diinginkan. Silika gel yang didapatkan umumnya akan berwarna putih atau tidak berwarna. Silika gel yang didapatkan dari proses ini dicampurkan dengan PDMS sebagai rantai panjang yang berperan sebagai zat peningkat sifat hidrofobik pada kain kapas.



Gambar 1. (a) Sekam padi setelah proses leaching dan pencucian (b) Sekam padi yang telah dibakar pada suhu 700°C

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap sifat hidrofobik kain dengan menggunakan pengukuran sudut kontak cairan dan kain. Sifat hidrofobik dari hasil proses pelapisan ini dapat diketahui dengan menggunakan nilai sudut kontak yang lebih besar dari 90°. Nilai sudut kontak yang lebih rendah (<90°) menunjukkan sifat hidrofilik. Abu sekam padi bersifat hidrofilik karena kandungan silika yang tinggi. Campuran silika gel yang didapatkan dari abu sekam padi dan turunan polisiloksan adalah zat aditif yang cocok untuk menyiapkan tekstil tahan air melalui lapisan sol-gel. Permukaan kain menjadi hidrofobik dan menolak molekul air setelah dilakukan proses modifikasi kimia pada permukaan material. Hasil yang didapatkan dari pengukuran tersebut adalah sebesar 107,8° dan setelah pencucian sebesar 101,2°. Umumnya kain yang diproses pencucian dapat mengurangi sifat hidrofobisitas dari permukaan dengan merusak ikatan yang dibentuk oleh silika. Meskipun sudut kontak kain menurun setelah pencucian, namun sifat hidrofobik tetap dapat dipertahankan (yaitu sudut kontak >90°). Pada permukaan kain akan terlapisi silika berasal dari abu sekam padi yang memiliki ikatan Si-O-Si, hal ini yang menyebabkan permukaan kain bersifat hidrofobik dan berstruktur kasar. Dengan penambahan alkyl rantai panjang PDMS dapat meningkatkan sifat tolak air

(hidrofobik) yang semakin meningkat dengan semakin panjang rantai ikatannya serta meningkatkan durabilitasnya terhadap proses pencucian. Gugus hidroksil dari kapas bereaksi dengan SiO_2 , dan alkil hidrofobik rantai panjang yang ditambahkan ke permukaan serat kapas sehingga menimbulkan efek energi permukaan rendah yang membuat serat tahan terhadap pembasahan oleh tetesan air. Hal ini dapat diamati dari Gambar 2. a dan b.



Gambar 2. Permukaan kain kapas bersifat hidrofobik (a) sebelum dilakukan pencucian (b) sesudah dilakukan pencucian

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, dilakukan peningkatan sifat hidrofobik dari bahan tekstil kain kapas melalui pelapisan dengan silika yang didapatkan dari sekam padi, yang kemudian dimodifikasi menggunakan polidimetilsiloksan. Tahap pelapisan secara rinci dari proses persiapan dan aplikasinya diberikan dalam bagian metode. Evaluasi pertama dilakukan dengan pengukuran sudut kontak pada kain kapas yang telah diproses pelapisan. Untuk investigasi lebih lanjut dilakukan tes pencucian dan pengukuran sudut kontak kembali. Setelah dilakukan proses pelapisan pada kain kapas, didapatkan sudut kontak air berubah dari 0° menjadi lebih dari 100° , hal ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan sifat dan karakteristik dari permukaan kain yang sebelumnya bersifat hidrofilik hingga menjadi hidrofobik. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan evaluasi tambahan untuk mengetahui durabilitas dari kain terhadap pencucian serta pegecekan morfologi dan ikatan yang terjadi dari kain kapas untuk konfirmasi efek dari penambahan silika dan polidimetilsiloksan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bansal, , Ahmad, A. & Sastry, , Fungus-Mediated Biotransformation of Amorphous Silica in Rice Husk to Nanocrystalline Silica. *J. AM. CHEM. SOC.* (2006).
2. Riza, & Rahman, , *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks* (Woodhead Publishing, 2015).
3. Nurhasni, Hendrawati & Saniyyah, N., Sekam Padi untuk Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air. *Valensi* (2014).
4. Ugheoke, I. B. & Mamat, , A critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties. *Maejo Int. J. Sci. Technol* (2012).
5. Bose, D. N., Innovative process for preparation of multi- crystalline Silicon from rice-husk. *International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies* (2016).
6. Bakri, Komponen Kimia dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai Scm Untuk Pembuatan Komposit Semen. *Jurnal Lab. Keteknikan dan Diversifikasi Produk Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.* (2008).
7. Zhang, X., Shi, F. & Niu , J., Superhydrophobic surfaces: from structural control to functional application. *J Mater Chem* (2008).
8. AW, A. & AP, G., Physical chemistry of surfaces, 6th edn. *A Wiley-Interscience Publication* (1997).
9. Zhu, M., Shi, Q. & He, T., Self-Powered and Self-Functional Cotton Sock Using Piezoelectric and Triboelectric Hybrid Mechanism for Healthcare and Sports Monitoring. *ACS Nano* (2019).
10. Periolatto, M., Ferrero, F., Montarsolo, A. & Mossotti, R., Hydrorepellent finishing of cotton fabrics by chemically modified TEOS based nanosol. *Cellulose* (2013).
11. Roach, P. & Shirtcliffe, Progress in Superhydrophobic Surface Development. *Soft Matter* (2008).

12. Bhusan, B., Micro-, nano- and hierarchica structures for superhydrophobicity, self-cleaning and low adhesion. *Journal of Phil. Trans. Royal Society R. Soc. A*, 2009.
 13. Sankar, , Sharma, S. K. & Kaur, N., Biogenerated silicanano particles synthesized from sticky, red, and brown rice husk ashes by a chemical method. *Elsevier* (2015).
 14. Shishodia, , Arora, & Babu, , Multidimensional durability of superhydrophobic self-cleaning surface derived from rice-husk ash. *Elsevier*, 2 (2019).
 15. Liou, T.-H., Synthesis and surface characteristics of nanosilica produced from alkali-extracted rice husk ash. *Elsevier* (2011).
 16. Espanhol-Soares, , Costa, L. & Silva, R. A., Super-hydrophobic coatings on cotton fabrics using sol-gel technique by spray. *Springer Nature* (2020).
 17. Paul, D., Das, S. C. & Islam, T., Effect of alkali concentration on dyeing cotten knitted fabrics with reactive dyes. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering* (2017).
 18. Reid, J. A., Influence of aorta extracellular matrix in electrospun polycaprolactone scaffolds. *Journal of Applied Polymer Science* (2019).
 19. Umeda, & Kondoh, , High-purification of amorphous silica originated fromrice husks by combination of polysaccharide hydrolysis and metallicimpurities removal. *Elsevier: Industrial Crops and Products* (2010).
 20. Umeda, & Kondoh, , High-purity amorphous silica originated in rice husksvia carboxylic acid leaching process. *Elsevier: Industrial Crops and Products* (2008).
-

KARAKTERISASI DAN MODIFIKASI *POLYLACTIC ACID* (PLA) UNTUK PEMBUATAN BENANG JAHIT BEDAH MENGGUNAKAN PEMINTALAN LELEH

CHARACTERIZATION AND MODIFICATION OF POLYLACTIC ACID (PLA) FOR THE MANUFACTURING OF SURGICAL SUTURE YARN USING MELT SPINNING MACHINE

Robinson Manalu

PT. Buana Sarana Professional, Jl. Melong Cijerah IV No.2, Cijerah, Kec. Bandung Kulon, Kota Bandung, Jawa Barat 40213
E-mail: robin@buanasarana.com

ABSTRAK

Polylactic acid (PLA) adalah poliester termoplastik yang paling banyak dikembangkan karena sifat *biodegradable* dan terbarukan. PLA memiliki kapasitas untuk menggantikan polimer konvensional dari sumber daya berbasis bahan bakar fosil karena merupakan satu-satunya serat yang dapat diproses dengan pemintalan leleh dari sumber daya alam terbarukan. Pemintalan leleh merupakan teknik utama untuk memproduksi serat PLA dalam skala besar dalam industri tekstil. Untuk menghasilkan tekstil fungsional, PLA perlu dicampurkan dengan polimer lain atau *filler* seperti serat, mikro, atau nanopartikel. Makalah ini menyajikan tinjauan mengenai metode pembuatan, karakteristik, aplikasi, dan juga modifikasi PLA untuk membuat benang jahit bedah dengan mencampurkan *polylactic acid* (PLA dan *polyglycolic acid* (PGA).

Kata kunci: *polylactic acid* (PLA), pemintalan leleh, tekstil fungsional, *polyglycolic acid* (PGA)

ABSTRACT

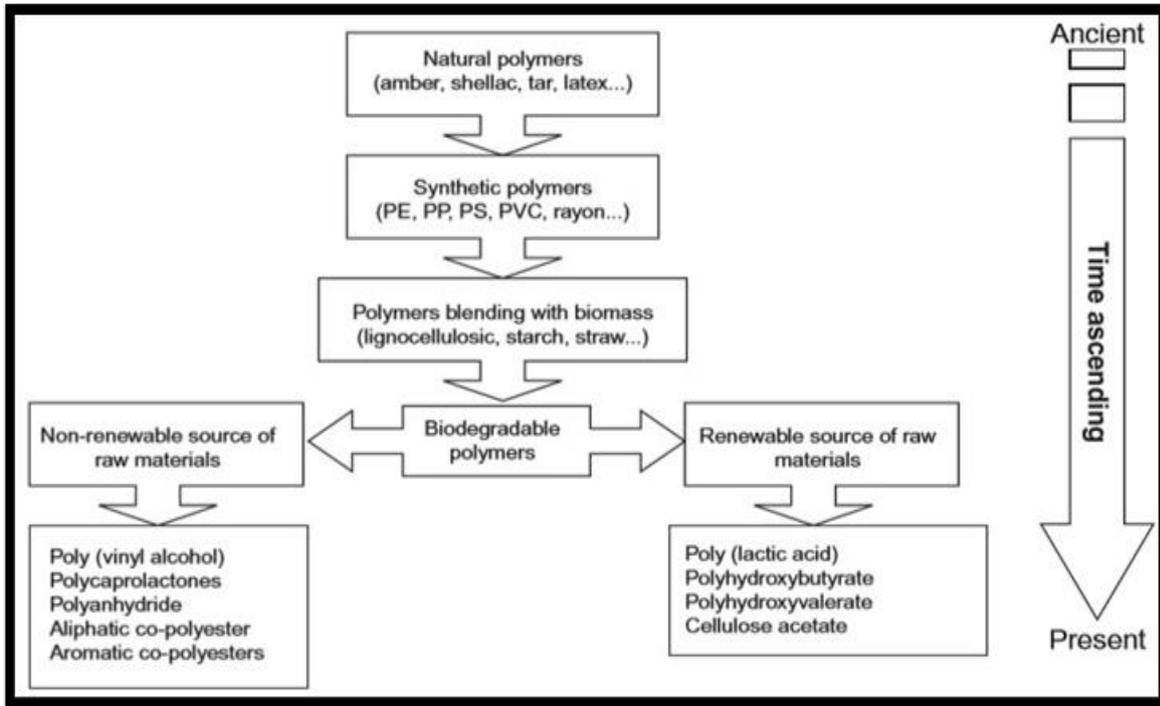
Polylactic acid (PLA) is the most widely developed thermoplastic polyester due to its *biodegradable* and *renewable* properties. PLA has the capacity to replace conventional polymers from fossil fuel-based resources because it is the only fiber that can be processed by melt spinning from renewable natural resources. Melt spinning is the main technique for producing PLA fibers on a large scale in the textile industry. To produce functional textiles, PLA needs to be mixed with other polymers or fillers such as fibers, micro, or nanoparticles. This paper provides an overview of the manufacturing method, characteristics, application, and modification of PLA for making surgical suture yarn by mixing *polylactic acid* (PLA) and *polyglycolic acid* (PGA).

Keywords: *polylactic acid* (PLA), melt spinning, functional textiles, *polyglycolic acid* (PGA)

PENDAHULUAN

Penggunaan polimer sintetik berbasis minyak bumi, beberapa tahun terakhir ini disoroti menimbulkan berbagai masalah. Berkurangnya sumber daya fosil dan residu limbah plastik yang tidak terdegradasi menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius serta meningkatnya konsentrasi karbon dioksida di atmosfer telah memfokuskan perhatian pada pengembangan plastik berbasis bio (Matsumoto & Taguchi, 2010). Upaya tersebut dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya terbarukan untuk dikonversikan menjadi polimer *biodegradable* ramah lingkungan. Polilaktida (PLA) dengan rumus kimia $(\text{CH}_3\text{CHOHCOOH})_n$ adalah polimer yang bersifat *biodegradable*, *thermoplastic*, dan merupakan poliester alifatik yang terbuat dari bahan-bahan terbarukan seperti pati jagung atau tanaman tebu. Polilaktida (PLA) dapat dijadikan alternatif pengganti polimer konvensional karena memiliki sifat *biodegradable* dan berasal dari sumber daya terbarukan. Saat ini, PLA sudah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi terutama di bidang medis, kemasan dan tekstil. Di bidang medis, PLA digunakan sebagai bahan pembuat benang jahit untuk keperluan operasi (*surgical implant*) dan bahan pembungkus kapsul untuk sistem pengantaran obat (*drug delivery*) dan juga perbaikan jaringan tubuh manusia (tempat penambatan pertumbuhan sel baru).⁵

Berikut adalah gambar yang menunjukkan trend umum pengembangan polimer secara global.



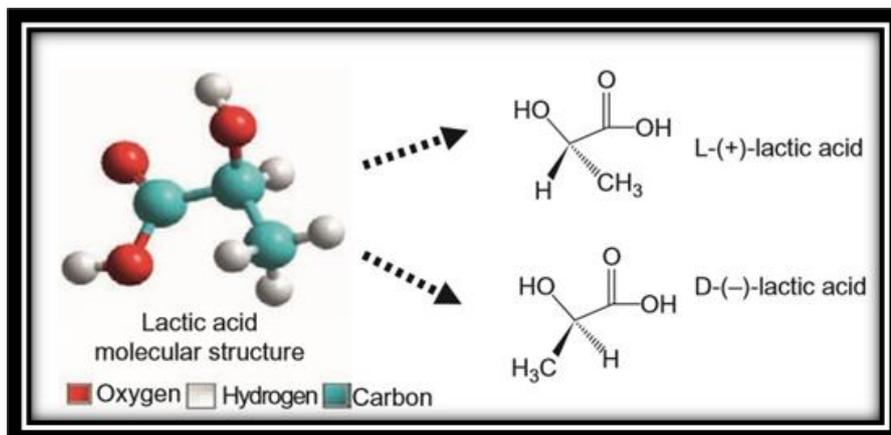
Gambar 1. Trend umum pengembangan polimer secara global³

Serat sintetis atau serat buatan manusia umumnya berasal dari bahan petrokimia dan dari bahan alami. Serat polimer adalah bagian dari serat sintetis, serat jenis ini dibuat melalui proses kimia. Serat harus memiliki stabilitas dimensi dan termal dan tingkat minimum kekuatan dan ekstensibilitas yang konsisten dengan penggunaan akhir dan juga harus dapat dikonversi menjadi benang dan kain. Pembuatan serat melibatkan dua prinsip, yaitu: (1) produksi polimer dan (2) konversi polimer menjadi serat. Untuk serat berdasarkan bahan mentah yang berasal dari alam, langkah (1) tidak terlibat. Proses pembuatan benang sintetis dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu: pemintalan leleh, pemintalan kering, dan pemintalan basah. (Noerati dkk, 2013)

POLIMER POLYLACTIC ACID (PLA)

PLA adalah poliester alifatik thermoplastis, salah satu polimer yang paling banyak dipelajari karena keunggulannya dibandingkan beberapa polimer konvensional, seperti keterbaruan, biokompatibilitas, serta kemampuan untuk menghemat energi pada saat proses produksi. PLA juga memiliki manfaat lingkungan, seperti energi produksi rendah dan berkurangnya produksi gas rumah kaca.

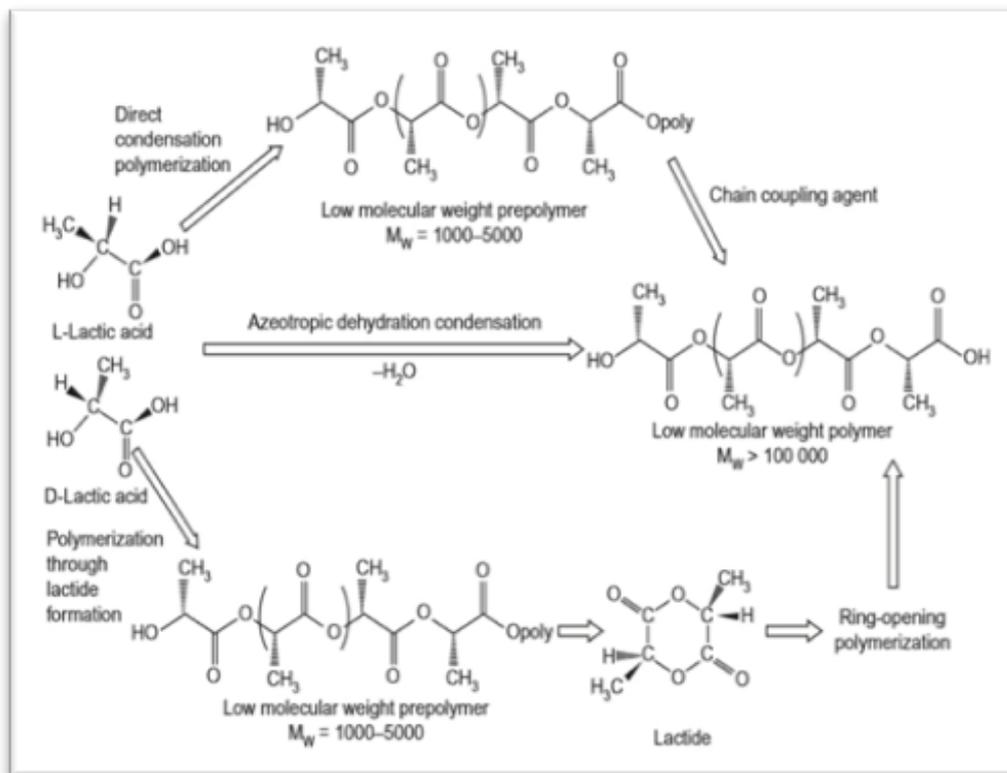
PLA terbentuk dari asam laktat (*2-hydroxy propanoic acid*) yang biasanya diproduksi dengan polimerisasi kondensasi langsung asam laktat atau dengan polimerisasi pembukaan cincin laktida. Dua stereoisomernya, L(+) dan D(-) diproduksi oleh bakteri fermentasi karbohidrat (*homofermentatif* dan *heterofermentatif*).



Gambar 2. Stereoisomer Lactic Acid

Berbagai sumber karbohidrat dapat digunakan untuk menghasilkan asam laktat, seperti molase, jagung, tebu, singkong, atau gula. Untuk proses produksi skala industri asam laktat, metode homofermentatif paling banyak dipakai karena menghasilkan asam laktat yang lebih baik. Dalam proses produksi ini, spesies *Lactobacillus* genus seperti *Lactobacillus delbrueckii*, *L. amylophilus*, *L. bulgaricus*, dan *L. leichmanii* digunakan (Rodrigues dkk, 2017). Faktor-faktor yang umumnya digunakan adalah pH antara 5,4 – 6,4; suhu 38 - 42^o C; dan konsentrasi oksigen yang rendah. Pada umumnya PLA diekstraksi dari sumber daya yang dapat diperbaharui dan dapat terdegradasi secara alami, seperti jagung, beras, dan singkong yang menjadi hal terpenting untuk dapat mengurangi pemakaian bahan yang bersumber dari minyak bumi. Menurut Averous (2008), sintesa PLA adalah sebuah proses yang terdiri dari beberapa langkah, dimulai dari produksi asam laktat sampai pada tahap polimerisasi. Polilaktida dapat diproduksi melalui tiga metode, yaitu:

- Polikondensasi Langsung (*Direct Condensation-Polymerization*) asam laktat yang menghasilkan PLA dengan berat molekul rendah dan rapuh sehingga sebagian besarnya tidak dapat digunakan, kecuali jika ditambahkan *chain coupling agent* untuk meningkatkan panjang rantai polimer.
- Kondensasi Dehidrasi Azeotropik (*Azeotropic Dehydration Condensation*) asam laktat dengan menggunakan pelarut Azeotropik, yang dapat menghasilkan PLA dengan berat molekul mencapai 15.400 dan rendemen sebesar 89%.
- Polimerisasi Pembukaan Cincin (*Ring Opening Polymerization* (ROP)), yang dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu polikondensasi asam laktat, depolimerisasi sehingga membentuk dimer siklik (*lactide*), dan dilanjutkan dengan polimerisasi pembukaan cincin, sehingga diperoleh PLA dengan berat molekul tinggi. Polimerisasi pembukaan cincin menghasilkan PLA dengan berat molekul 2×10⁴ hingga 6.8×10⁵. Metoda ROP ini telah dipatenkan oleh Cargill (Amerika Serikat) pada tahun 1992 (Gambar 3).

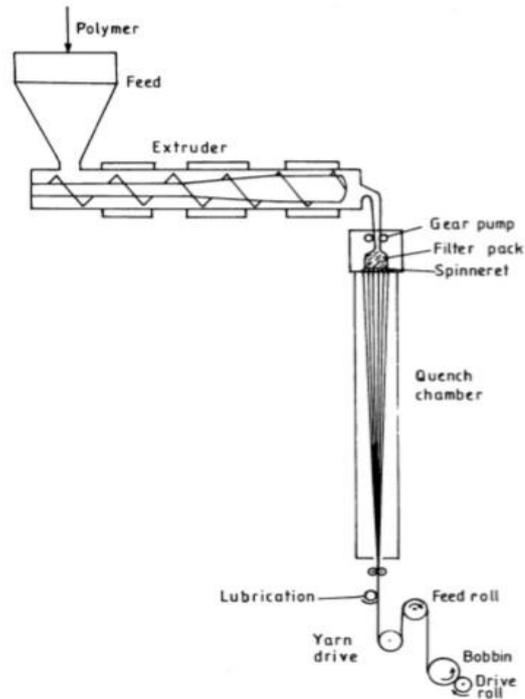


Gambar 3. Metode proses produksi PLA

PROSES PRODUKSI POLYLACTIC ACID (PLA)

Prinsip Dasar

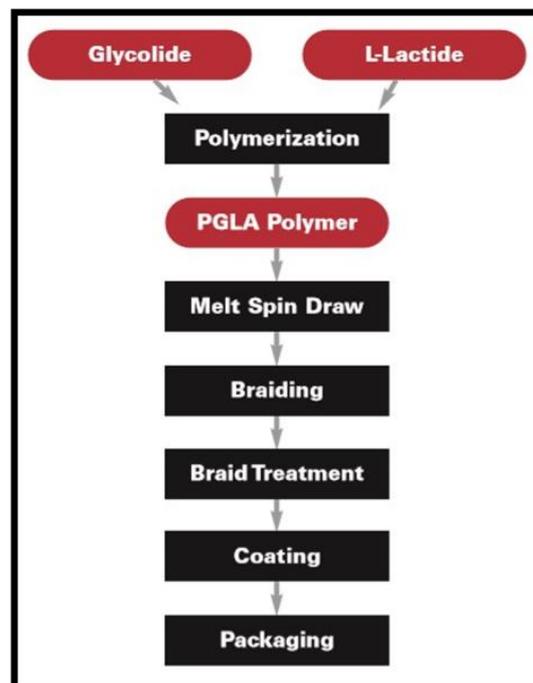
Pemintalan leleh adalah metode pembuatan serat yang paling sederhana, terutama karena tidak melibatkan masalah yang terkait dengan penggunaan pelarut. Oleh karena itu, ini adalah metode yang paling disukai, asalkan polimer memberikan lelehan yang stabil. Ketika *chips* polimer yang merupakan bahan awal untuk pemintalan leleh, dilebur dalam alat ekstrusi. Lelehan yang dihomogenisasi dan difiltrasi disemprotkan melalui *spinneret* ke dalam ruangan pendingin di mana terjadi proses pepadatan polimer menjadi serat filamen (Gambar 4). Serat tersebut selanjutnya digulung pada bobbin.⁷



Gambar 4. Proses Pemintalan Leleh⁷

Modifikasi

Poli (asam glikolat) atau poli (glikolida) (PGA) adalah poliester alifatik linier yang dapat terbiodegradasi yang disintesis dengan polikondensasi asam glikolat atau polimerisasi glikolida pembuka cincin. PGA masing-masing memiliki Tg dan Tm 35-40°C dan 225-230°C, serta modulus tarik 7,0 GPa. Ini juga memiliki kristalinitas tinggi, sekitar 45-55%. Ini menghasilkan ketidakmampuan PGA dalam pelarut organik. Selain itu, PGA secara hidrolitik tidak stabil, menghasilkan degradasi yang cepat bersama dengan sifat kekuatannya yang baik. Karakteristik ini membuatnya cocok untuk digunakan di area biomedis untuk pembuatan benang jahit bedah. Namun, karena faktor pembatas degradasi PGA yang cepat dan Tm yang tinggi, campuran PGA dan PLA adalah pilihan untuk memperlambat degradasinya karena PLA memiliki periode degradasi yang lebih lama dan campurannya memiliki Tm yang lebih rendah.¹



Gambar 5. Alur proses modifikasi campuran serat PLA dan PGA (www.fetuk.com)

Gambar Mesin dan Peralatan



Gambar 6. Mesin pembuatan *chips* polimer (www.leistritz.com)



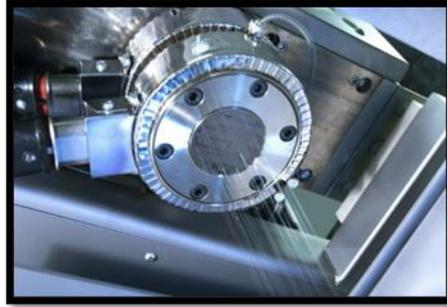
Gambar 7. Polimer (www.leistritz.com)



Gambar 8. Mesin Pemintalan Leleh (www.fetuk.com)



Gambar 9. Extruder



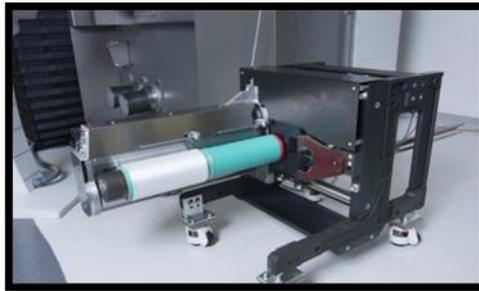
Gambar 10. Spinneret



Gambar 11. Drawing Roll

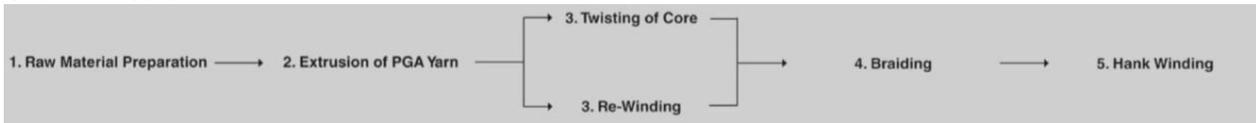


Gambar 12. Pengering Infra Merah



Gambar 13. Roll Penggulung

Urutan Proses





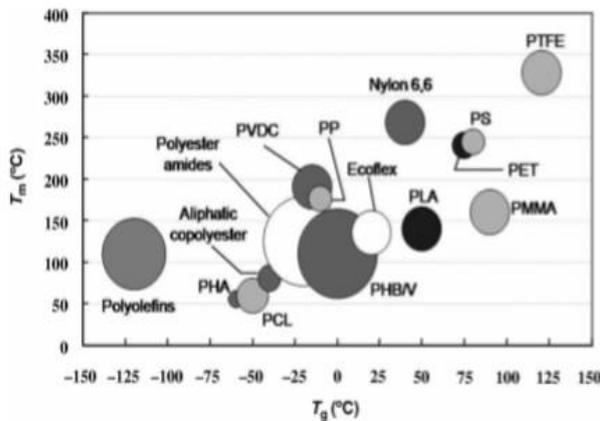
Gambar 14. Proses pembuatan benang jadi (www.fetuk.com)

SIFAT DAN PENGGUNAAN SERAT

Sifat

Serat PLA memiliki sejumlah karakteristik yang mirip dengan serat *thermoplastic* yang lain, seperti *crimp* yang dapat dikontrol, permukaan yang halus dan *moisture regain* yang rendah. Salah satu sifat yang paling unik adalah bahwa serat PLA satu-satunya serat yang dapat diproses dengan pemintalan leleh dari sumber daya alam terbarukan. Sifat-sifatnya sebagai berikut:¹

- Penampakan: penampang melintang bentuknya bulat dan permukaannya halus.
- Densitas: $1,25 \text{ gcm}^{-3}$
- Indeks Bias: 1,35-1,45
- Sifat Termal: $T_g = 55 - 65^\circ\text{C}$, $T_m = 160 - 170^\circ\text{C}$

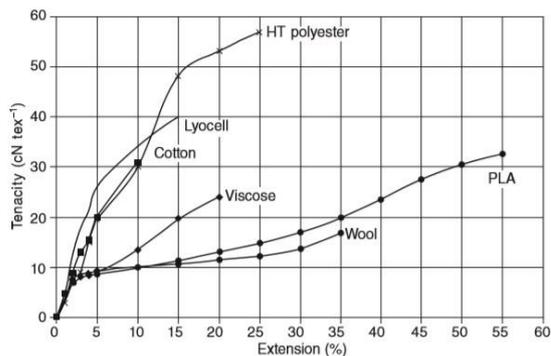


- Crimp*: Memiliki *crimp* dan *retention* yang baik.
- Tipe Serat: Dapat dibuat menjadi benang *staple* maupun benang *filament*.
- Tenacity*: *Tenacity* pada saat putus = $32 - 36 \text{ cN tex}^{-1}$
- Kekuatan Tarik: Besarnya nilai kekuatan tarik pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan 1 berikut:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1)$$

dimana

σ = kekuatan tarik MPa, E = modulus elastisitas tarik (MPa) dan ε = regangan mm/mm



- i. *Moisture Regain*: 0,4 – 0,6 %
- j. Sifat *Moisture Management*: Sifat *wicking* yang baik, kecepatan penyebaran kelembaban yang cepat dan cepat kering.
- k. Sifat Pembakaran: Meskipun PLA bukan polimer yang tidak mudah terbakar, seratnya memiliki sifat memadamkan diri yang baik.
- l. Ketahanan Sinar UV: Sangat baik dibandingkan dengan polimer dari minyak bumi.
- m. Ketahanan terhadap Mikroba: Lebih baik dibandingkan dengan polimer dari minyak bumi.
- n. Ketahanan terhadap Kimia: Tidak bagus.

Penggunaan Serat

- a. Tekstil: Kain handuk dapat 100% PLA ataupun dicampur dengan katun, gorden, dan lain-lain.
- b. Kain *Nonwoven*: Tissue untuk bayi, popok bayi, dan kain spunbond.
- c. Pakaian: Jaket, kaos, gaun, pakaian olahraga, dan lain-lain.
- d. Produk Fashion: Helm dan sepatu wanita.
- e. Otomotif: *Cover* ban serap mobil dan keset mobil.

PEMBAHASAN

Sifat intrinsik PLA yang tidak dimodifikasi membatasi penggunaannya sebagai benang jahit, seperti derajat kristalinitasnya yang tinggi (40%), rapuh, dan degradasi yang lambat. Untuk alasan tersebut, PLA dimodifikasi dengan polimer lain untuk mendapatkan sifat yang ditentukan. PGA merupakan polimer yang paling banyak dipakai untuk tujuan tersebut dengan rasio 90:10 PGA dengan PLA dan sudah dikomersialkan dengan nama Vicryl oleh Ethicon. Modifikasi PLA-PGA menyebabkan perubahan yang signifikan dalam sifat fisika. Pembentukan kristalinitas terhalang dan suhu transisi gelas menurun, menghasilkan jahitan dengan kekuatan mekanik yang dibutuhkan untuk menyatukan jaringan luka dan material benang jahit yang ditanam mengalami degradasi dan pengurangan berat 63,2 % dalam 168 hari.²

Benang jahit yang diproduksi menggunakan metode pemintalan leleh dapat menghasilkan benang yang memiliki sifat yang diinginkan dengan mengatur variable pada proses pemintalan leleh. Ada banyak variabel keadaan yang terlibat dalam pemintalan leleh yang menentukan arah pembentukan serat dan dimensi serta sifat serat yang dihasilkan, yaitu:⁷

1. Variabel Independen (Primer)
 - a. Material polimer
 - b. Temperatur extrusi
 - c. Diameter dan panjang *spinneret*
 - d. Jumlah output
 - e. Panjang jalur pemintalan
 - f. Kecepatan penggulangan
 - g. Kondisi proses pendinginan
2. Variabel Kedua
 - a. Kecepatan ekstrusi rata-rata
 - b. Perbandingan diameter dan panjang dari benang monofilamen
 - c. Denier dari filamen
 - d. Perbandingan ratio atau ratio pemintalan leleh
3. Variabel Akhir
 - a. Kekuatan tarik dari *roll* penggulung
 - b. Tegangan tarik pada *roll* penggulung
 - c. Suhu filamen
 - d. Struktur filament (orientasi, kristalinitas dan morfologi)

KESIMPULAN

Karena pengembangan serat PLA masih dalam tahap awal dibandingkan dengan serat sintesis konvensional, kelangsungan komersialnya dalam mengganti serat sintesis berbasis minyak bumi masih terbatas. Namun, sifat-sifat inheren unik dari serat PLA menjanjikan untuk banyak aplikasi pada industri tekstil. Pengembangan aplikasi PLA dalam beberapa tahun terakhir terutama berkaitan dengan masalah lingkungan dan efek samping dari penggunaan polimer berbasis petrokimia yang tidak terdegradasi. Penggunaan PLA telah tumbuh dengan baik di pasar domestik untuk barang-barang konsumen umum dan yang terpenting, dalam kemasan yang dapat terurai secara hayati. Pengembangan PLA diperkirakan akan tumbuh sangat besar di masa depan, membuat harga PLA sama ekonomisnya dengan plastik komoditas, tetapi dengan manfaat tambahan berupa ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. L. Deopura, R. Alagirusamy, M. Joshi and B. Gupta. (2008). *Polyesters and polyamides*. TJ International Limited, Padstow, Cornwall, England.
 2. John M. Brady, Duane E. Cutright, Robert A. Miller, and Gino C. Battistone. (1973). Divisions of Biophysics, Oral Pathology, Biochemistry, and Oral Biology, US Army Institute of Dental Research, Walter Reed Army Medical Center, Washington, D.C. 20012 and ERVIN E. HUNSUCK, Oral Surgery Service, Brooke General Hospital, Brooke Army Medical Center, Fort Sam Houston, Texas.
 3. Lee Tin Sin Abdul Razak Rahmat Wan Azian Wan Abdul Rahman. (2012). *Polylactic Acid : PLA Biopolymer Technology and Applications*. Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA.
 4. Rafael Auras, Loong-Tak Lim, Susan E.M. Selke, and Hideto Tsuji. (2010). *Poly(lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*. United States of America.
 5. Rahmayetty, Dhena Ria , Anton Irawan, Endang Suhendi, Sukirno, Bambang Prasetya, Misri Gozan. (2016). SINTESIS POLILAKTIDA (PLA) DARI ASAM LAKTAT DENGAN METODE POLIMERISASI PEMBUKAAN CINCIN MENGGUNAKAN KATALIS LIPASE. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon; Universitas Indonesia, Depok; National Standardization Agency of Indonesia (BSN), Jakarta.
 6. S. J. Eichhorn, J. W. S. Hearle, M. Jaffe and T. Kikutani. (2009). Handbook of textile fibre structure : *Fundamentals and manufactured polymers fibers (Vol. 1)*. New York Washington, DC.
 7. V.B. Gupta and V.K. Kothari. (1997). *Manufactured Fibre Technology*. Indian Institute of Technology, Delhi, India.
-

RANCANG BANGUN MESIN PEMINTALAN LELEH SKALA LABORATORIUM UNTUK PEMBUATAN SERAT SINTETIK

DESIGN AND MANUFACTURE OF LABORATORY SCALE MELT SPINNING MACHINE FOR SYNTHETIC FIBER PRODUCTION

Silvani Olival Alif, Tony Setiawan, Mukti Widodo, Herman Fitrianto, Mukhlisin

Balai Besar Tekstil
Jl. Jend. Ahmad Yani No. 390 Bandung 40272
E-mail: v_alif@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Mesin pemintalan leleh diperlukan untuk pembuatan serat-serat sintetik yang sifatnya termoplastis dan pada umumnya terdapat dalam ukuran besar atau skala produksi. Namun, untuk kegiatan penelitian dan pendidikan, diperlukan mesin pemintalan leleh dalam skala laboratorium yang mampu mengakomodir pembuatan serat sintetik dengan kapasitas yang kecil. Pada penelitian ini, telah dilakukan kegiatan pembuatan mesin pemintalan leleh skala laboratorium yang terdiri dari tahap perancangan, pembuatan komponen, perakitan, dan uji coba performa mesin. Uji coba performa mesin dilakukan menggunakan material *high-density polyethylene* (HDPE) dengan pengaturan mesin pada suhu ekstruder 220 °C, suhu *spinpack* 200 °C, kecepatan *screw* ekstruder pada frekuensi inverter 10 Hz atau 5,8 rpm, kecepatan *drawing* 307,72 m/menit, dan jumlah lubang *spinneret* 28 lubang. Berdasarkan hasil uji performa tersebut, mesin ini telah mampu mengolah kepingan polimer HDPE menjadi serat filamen HDPE dengan rasio masa polimer sebesar 11,58 gram/menit. Filamen HDPE yang dihasilkan memiliki nilai kekuatan tarik 22,38 cN, mulur serat 3,94 %, dan kehalusan serat: 94,56 denier.

Kata kunci: rancang bangun, pemintalan leleh, serat sintetik, HDPE, skala laboratorium

ABSTRACT

Melt spinning machine is necessary for producing thermoplastic synthetic fibers. Generally, this machine came in large dimension or production scale size. However, for research and educational activity, a melt spinning machine needs to be in the size of a laboratory-scale so that it can produce synthetic fibers in small capacities. In this research, a laboratory-scale melt spinning machine has been made, and the research activities consist of designing, component manufacturing, assembling, and testing the machine performance. Machine performance testing was performed by using high-density polyethylene (HDPE) materials while the machine was set on these conditions; extruder temperature 220 °C, spin-pack temperature 200 °C, screw extruder speed on 10 Hz inverter frequency or equal to 5,8 rpm, drawing speed 307,72 m/minute and total 28 spinneret holes. From the trial, this machine has been able to process HDPE polymer chips into HDPE filament fibers with mass output rate 11,58 grams/minute. The HDPE filament has an average value of tensile strength 22,38 cN, elongation 3,94 %, and fineness of filament 94,56 denier.

Keywords: design and manufacture, melt spinning, synthetic fibers, HDPE, laboratory scale

PENDAHULUAN

Serat sintetik adalah serat buatan yang berasal dari bahan mentah minyak bumi berdasarkan bahan kimia dan petrokimia.^{1,2} Serat sintetik adalah filamen panjang yang dihasilkan oleh proses ekstrusi pada saat pembuatan serat, baik itu menggunakan metode pemintalan kering, basah, atau leleh.^{3,4} Istilah pemintalan serat buatan menggambarkan suatu proses ekstrusi larutan polimer melalui media yang berlubang (*spinneret*), dimana larutan polimer tersebut kemudian memadat dalam satu aliran panjang yang tak terputus. Proses pemintalan menggunakan metode ini kadangkala disebut sebagai “pemintalan kimia atau primer” untuk membedakannya dengan “pemintalan tekstil atau mekanis atau sekunder”.⁵

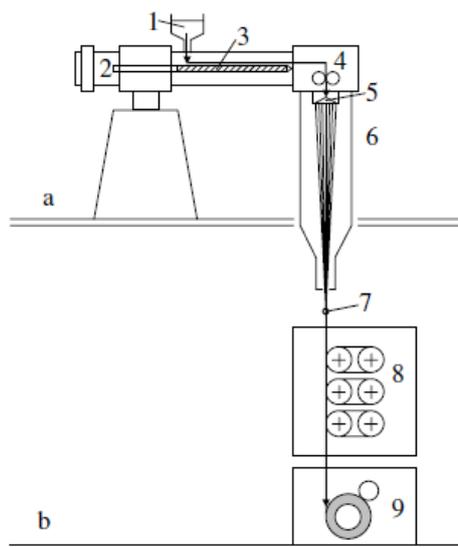
Salah satu metode pembuatan serat sintetik adalah dengan metode pemintalan leleh.^{3,5} Metode ini dapat diaplikasikan pada polimer termoplastis yang menunjukkan performa stabil pada suhu prosesnya (metode ini digunakan pada 70% serat). Metode pemintalan leleh ini dapat mendukung penelitian-penelitian serat – serat buatan umum antara lain Poliester (PET), Polietilena (PE), Polipropilena (PP), Poliamida (PA), *High-density polyethylene* (HDPE), dan lainnya. Selain itu, metode pemintalan leleh ini juga dapat digunakan untuk pembuatan serat – serat buatan dengan sifat khusus seperti pembuatan serat-serat bi-komponen, dengan

aplikasi sangat luas yang mencakup pembuatan komposit, kain nir tenun, pakaian pemadam kebakaran, rompi anti peluru, optik dan elektronik, komposit *self-healing* dan lainnya.^{4,6}

Tabel 1. Perbedaan metode pemintalan leleh dengan pemintalan menggunakan larutan⁵

	Pemintalan leleh	Pemintalan menggunakan larutan	
		Pemintalan basah	Pemintalan kering
Prinsip	Perpindahan thermal pada suhu yang lebih tinggi dari titik leleh serat	Pertukaran massa	pertukaran thermal dan pertukaran massa
Viskositas massa polimer	Tinggi	Medium	
Pengoperasian	Tinggi (100 - 300 bar)	Medium - rendah	
Kecepatan spinning	Tinggi Benang: hingga 6000-7000 m/menit Tow: hingga 1000-1500 m/menit	Lambat	Medium
		Tekanan hingga 20 bar	
Morfologi serat:	Mengikuti profil kapilernya	Umumnya bentuknya tidak sempurna (dari bundar hingga lobus)	Umumnya bentuknya tidak sempurna (dari bundar hingga lobus)
		Berpori mikro dengan permukaan kasar	Berpori mikro dengan permukaan padat
Struktur	Struktur padat dengan permukaan halus	Berpori mikro dengan permukaan kasar	Berpori mikro dengan permukaan padat
Serat yang umum dipintal	poliamida, poliester, polipropilena, dll	poliakrilonitril, viskosa, kupro, modal, elastane, dll	elastane, poliakrilonitril, dll

Pemintalan leleh adalah metode yang paling mudah dan ekonomis dalam pembuatan serat polimer skala industri.⁷ Pada pemintalan leleh, zat pembentuk serat dilelehkan lalu diekstrusi melalui spinneret kemudian segera dipadatkan dengan cara pendinginan. Pemintalan leleh menggunakan panas untuk melelehkan polimer hingga viskositas tertentu sehingga sesuai untuk proses ekstrusi melalui spinneret.^{5,7} Persyaratan utama polimer yang digunakan pada *melt spinning* ini adalah polimer tersebut harus mampu bertahan pada saat proses pelelehan dan harus mampu mempertahankan kestabilannya pada rentang suhu proses pemintalan.⁸ Polimer yang akan dilelehkan tersebut pada umumnya berbentuk kepingan. Kepingan polimer tersebut, yang didapatkan dari kombinasi zat kimia yang telah direaksikan sebelumnya, dilelehkan lalu dipompa melalui spinneret dalam sebuah *chamber* udara. Lelehan polimer tersebut didinginkan dan dipadatkan menjadi sebuah filamen panjang dan kemudian ditarik dari *chamber*, diberikan puntiran (*twist*) dan/atau diproses lebih lanjut menjadi bentuk gulungan.^{7,9}



Gambar 1. Skema mesin pemintalan leleh: a – bagian spinning, b – bagian winding; 1 – penampung pellet (kepingan) polimer, 2 – motor elektrik, 3 – bagian ekstruder dan *screw* ekstruder, 4 – bagian spinning dengan *gear pump*, 5 – *spinneret* dengan lubang kapiler, 6 – ruang *quenching* udara, 7 – aplikator *spin finish*, 8 – pasangan rol godet untuk *drawing*, 9 - *winder*¹⁰

Pada penelitian ini, telah dilakukan rancang bangun mesin pemintalan leleh skala laboratorium dengan sebagian besar skema rancangannya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini diharapkan dapat membantu perkembangan penelitian serat sintetik dalam skala kecil sehingga lebih ekonomis.

METODE

Bahan dan peralatan

1. Bahan

Bahan yang digunakan pada rancang bangun ini adalah kepingan polimer HDPA, baja paduan, pelat aluminium, besi siku, besi kanal, pelat *stainless*, besi pelat, cat, dan *thinner*

2. Peralatan

Proses rancang bangun mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini menggunakan peralatan; mesin bubut, mesin *Computer Numerical Control (CNC)*, mesin las, mesin *drill*, mesin *milling*, mesin gerinda potong dan aneka perkakas kerja bangku

3. Komponen mesin

Komponen yang perlu dipersiapkan untuk proses rancang bangun mesin ini di antaranya; motor listrik, inverter, gear box, kopling, v-belt, puli, elemen pemanas, ac, roda, sistem kontrol dan kelistrikan, sensor tekanan

Tahapan penelitian

Pada kegiatan penelitian rancang bangun mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini dilakukan beberapa tahapan sebagaimana berikut:

Proses perancangan mesin

Proses ini dilakukan dengan mengikuti skema utama proses pemintalan leleh sebagaimana yang tercantum pada Gambar 1 dengan beberapa penyesuaian. Proses penyesuaian ini di antaranya melalui optimasi dan iterasi pada desain mesin yang merupakan bagian dari kegiatan penelitian dalam proses rancang bangun mesin ini. Penyesuaian yang dilakukan pada keseluruhan bagian mesin untuk mendapatkan desain mesin skala laboratorium. Proses ini juga menentukan spesifikasi teknis komponen dan mesin secara keseluruhan. Beberapa kriteria yang diharapkan dalam perancangan mesin ini di antaranya: kemudahan dalam perawatan, konstruksi yang sederhana, kemudahan dalam pemindahan mesin (mobilitas), dan pemakaian daya seminimal mungkin. Sedangkan kriteria utama yang harus dimiliki oleh mesin ini yaitu memiliki kemampuan pemanasan minimal 300°C pada bagian spinning dan mampu mencairkan polimer padat secara sempurna sepanjang ekstruder dalam jangka waktu maksimal 3 menit.

Pembuatan suku cadang dan perakitan mesin

Proses pembuatan suku cadang mesin dilakukan di Balai Besar Tekstil. Suku cadang mesin dipersiapkan dalam empat bagian besar, yaitu bagian rangka, bagian *feeding system dan spinning pack*, bagian sistem pendingin udara (*quench air system*), dan bagian penggulung benang. Setelah tiap bagian selesai dibuat, dilanjutkan dengan proses perakitan keseluruhan mesin.

Uji performa mesin

Uji performa mesin dilakukan di Balai Besar Tekstil. Uji performa mesin terdiri dari dua tahap, yaitu uji performa mesin tanpa bahan baku dan uji performa mesin menggunakan bahan baku. Pada uji performa mesin tanpa bahan baku, mesin dijalankan dalam keadaan kosong untuk mengamati performa mesin pada tiap bagian maupun secara keseluruhan. Pada uji ini juga dilakukan pengecekan temperatur pada bagian ekstruder dan *spinpack*, dan uji kecepatan rol pada bagian *winding*. Kecepatan permukaan rol pada *winding* dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\text{Kecepatan permukaan rol} = n \times \pi \times d \times \frac{d_1}{d_2} \quad (1)$$

dimana; n adalah kecepatan putaran, d adalah diameter rol godet, d_1 adalah diameter roda puli 1 dan d_2 adalah diameter roda puli 2.

Pada uji performa mesin menggunakan bahan baku, mesin dijalankan dengan memasukkan bahan baku yaitu serat sintetik termoplastis. Uji performa mesin dengan bahan baku ini dilakukan untuk mengamati kemampuan mesin untuk membuat serat sintetik. Kecepatan ekstrusi polimer sintetik pada saat uji performa ini dihitung menurut persamaan (2),^{7,8,11-13} yaitu:

$$\text{Rata-rata kecepatan ekstrusi polimer} = \frac{4W}{\eta \times \rho \times \pi \times d^2} \quad (2)$$

dimana; W adalah rasio massa polimer yang dihasilkan, η adalah jumlah lubang *spinneret*, ρ_0 adalah masa jenis polimer, dan d_0 adalah diameter lubang *spinneret*.

Uji performa menggunakan bahan baku masih dilakukan pada suhu rendah yaitu di bawah 250°C, oleh karena itu pemilihan material yang digunakan adalah serat sintetik dengan titik leleh rendah, salah satunya adalah HDPE. HDPE adalah salah satu jenis serat polietilena yang secara teori memiliki titik leleh yang rendah, yaitu 125 - 145°C. Pengaturan mesin untuk pembuatan serat HDPE ini adalah sebagai berikut; suhu ekstruder & *spinpack*: 200°C, kecepatan *screw* ekstruder: 10 Hz dan suhu *quenching*: $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Filamen HDPE yang keluar dari *spinneret*, setelah didinginkan saat melalui bagian *quenching* lalu dilakukan penggulangan, namun masih tanpa proses penarikan. Jika diasumsikan pada pembuatan serat ini dilakukan proses penarikan, maka perkiraan diameter filamen yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan (3).^{5,12,14}

$$d_L = 2 \sqrt{\frac{W}{\eta \times \pi \times \rho_L \times V_L}} \quad (3)$$

dimana; d_L adalah diameter tiap filament saat penarikan, W adalah rasio massa polimer yang dihasilkan, η adalah jumlah lubang *spinneret*, ρ_L adalah masa jenis polimer saat penarikan, dan V_L adalah kecepatan penarikan serat.

Karakterisasi serat HDPE

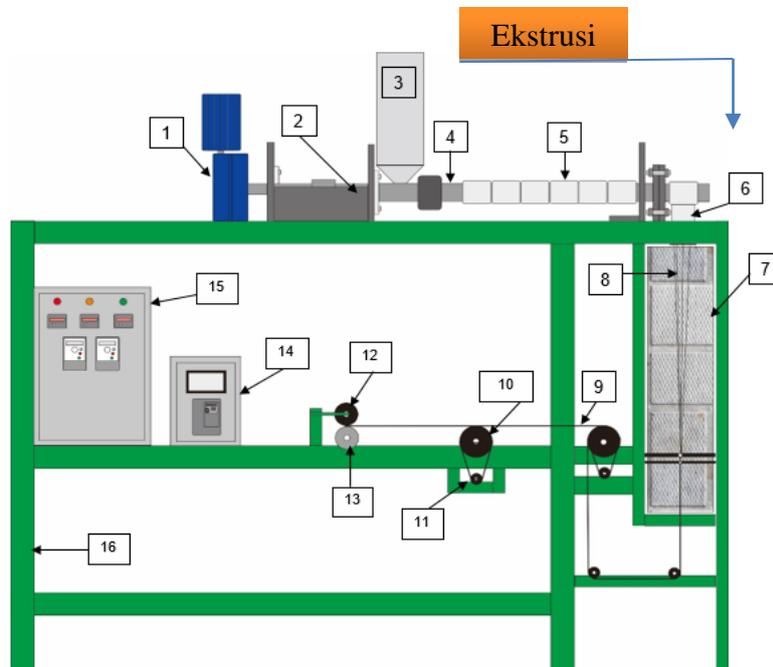
Karakterisasi serat HDPE dilakukan di laboratorium pengujian Balai Besar Tekstil. Serat HDPE yang dikarakterisasi dengan melakukan pengujian titik leleh, kehalusan, kekuatan tarik, dan mulur serat HDPE.

Uji titik leleh dilakukan sesuai standar SNI 0264 menggunakan termometer dan mikroskop khusus yang terhubung dengan pemanas. Prinsip pengujian titik leleh ini adalah dengan meletakkan serat di atas pemanas, lalu serat akan dipanaskan sambil diamati menggunakan mikroskop, suhu saat serat meleleh dicatat sebagai titik leleh. Uji kehalusan dilakukan sesuai standar ASTM D1577 menggunakan alat Favigraph. Uji kekuatan tarik dan mulur serat dilakukan sesuai standar SNI 7650 menggunakan alat Statimat DS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Prototipe Mesin

Hasil rancangan spesifikasi mesin pemintalan leleh mini adalah sebagaimana tercantum pada Gambar 2. Adapun deskripsi fungsi bagian mesin dijelaskan pada Tabel 2.



Gambar 2. Skema rancangan mesin pemintalan leleh: 1 – Motor & gear box, 2 – Dudukan ekstruder, 3 – Hopper, 4 – Ekstruder, 5 – Elemen pemanas, 6 – *Spinneret*, 7 – *Quenching*, 8 – Serat yang keluar dari *spinneret*, 9 – Benang sintetik, 10 – Rol godet, 11 – Rol penghantar benang, 12 – Rol penggulangan, 13 – Drum beralur, 14 – Layar control panel, 15 – Panel pengaturan kecepatan dan suhu, 16 – Rangka mesin

Tabel 2. Deskripsi Fungsi Bagian

No.	Nama Bagian	Fungsi
1.	Motor	Alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik
2.	Motor & gear box	Memindahkan dan mengubah tenaga dari motor yang berputar, yang digunakan untuk memutar spindel mesin maupun melakukan gerakan feeding
3.	<i>Hopper</i>	Tempat menampung kepingan polimer
4.	Ekstruder & <i>screw</i>	Untuk melelehkan kepingan/ <i>chip</i> polimer dan mendorongnya ke bagian <i>spinning</i>
5.	Elemen pemanas	Untuk memanaskan dan melelehkan polimer
6.	<i>Spinneret</i>	Sebagai jalur keluarnya serat setelah dilelehkan
7.	<i>Quenching</i>	Mendinginkan lelehan polimer yang keluar melalui <i>spinneret</i> , sehingga polimer yang awalnya berbentuk lelehan dapat memadat secara cepat
8.	Rol godet & rol penggulung	Menarik filamen saat keluar dari <i>spinneret</i> & menggulung serat

Hasil Rancang Bangun

Proses kegiatan rancang bangun ini telah menghasilkan mesin pemintalan leleh skala laboratorium yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mesin pemintalan leleh skala laboratorium tampak depan dan samping

Mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini memiliki spesifikasi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3:

Tabel 3. Spesifikasi Mesin Pemintalan Leleh

No.	Bagian	Spesifikasi
1.	Rangka	Bahan: Besi siku dan plat baja Panjang: 3 meter Lebar: 1,2 meter Tinggi: 2 meter
2.	<i>Feeding System</i>	
	a. <i>Hopper</i>	Bahan: <i>stainless</i> Kapasitas: 15 L
	b. Ekstruder	Bahan baku: Besi baja <i>alloy</i> dengan <i>hard chrome</i> pada permukaan dalam Panjang: 120 cm Diameter luar <i>barrel</i> : 80 mm Diameter dalam <i>barrel</i> : 35 mm
	c. Motor	3 fasa, 5 PK
	d. Elemen pemanas keramik	5 buah Kapasitas maksimum: 350°C 800 W, 220 V
3.	<i>Spinneret</i>	Bahan: baja Jumlah lubang: 28 lubang

No.	Bagian	Spesifikasi
		Diameter lubang: 0,8 mm
4.	<i>Winding & Godet</i>	Rol <i>guiding</i> : 2 buah, @ diameter 50 mm Rol <i>godet</i> : 2 buah @ diameter 140 mm Drum beralur: 1 buah, diameter 75 mm Roda puli: 2 buah, diameter 75 mm dan 150 mm Motor winding: ¼ PK, 1 phase

Uji Coba Performa Mesin Tanpa Bahan Baku

Uji coba performa elemen pemanas

Uji coba performa elemen pemanas ini dilakukan pada suhu yang telah ditentukan untuk memastikan apakah elemen pemanas dapat mencapai suhu tersebut untuk proses pelelehan serat. Pada uji coba performa ini suhu pemanasan yang ditargetkan adalah 300°C. Elemen pemanas dan sensor panas dipasang di sepanjang ekstruder dan *spin pack* sehingga suhu dapat dikendalikan secara *close loop*. Data uji coba ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji coba elemen pemanas: suhu dan waktu pencapaian

Suhu (°C)	Waktu Pencapaian pada Ekstruder (Menit)	Waktu Pencapaian pada <i>Spin Pack</i> (Menit)
50	3	2
75	5	4
100	8	7
125	11	9
150	14	12
175	17	15
200	21	18
225	28	22
250	35	28
275	41	36
300	52	45

Hasil uji coba terhadap kemampuan pemanasan didapatkan nilai suhu 300°C dapat dicapai dalam waktu 52 menit untuk ekstruder dan 45 menit untuk *spin pack*. Perbedaan waktu pencapaian ini disebabkan oleh berbedanya massa dan profil kedua komponen tersebut sehingga menyebabkan perbedaan laju perpindahan panas yang masuk dan keluar dari kedua komponen tersebut. Dengan hasil uji coba ini dapat menjadi petunjuk bagi pemasukan bahan baku untuk yang pertama kali agar proses pelelehan dapat berlangsung dengan baik.

Kecepatan permukaan rol pada bagian *winding*

Perhitungan kecepatan permukaan rol pada bagian *winding* dilakukan untuk mengukur besar kecepatan perputaran rol godet dan rol penggulung, pada saat proses penarikan dan penggulangan filamen. Mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini memiliki satu rol godet dan dua roda puli, dimana diameter rol godet adalah 0,14 meter, diameter roda puli 1 adalah 0,075 meter dan diameter roda puli 2 adalah 0,15 meter. Pada saat uji performa mesin, rol tersebut dijalankan dengan kecepatan putaran 1400 rpm. Maka, jika mengacu pada persamaan (1), kecepatan permukaan rol pada bagian *winding* yang dicapai pada saat uji performa mesin adalah 307,72 m/menit atau 5,1 ms⁻¹.

Kecepatan ekstrusi polimer

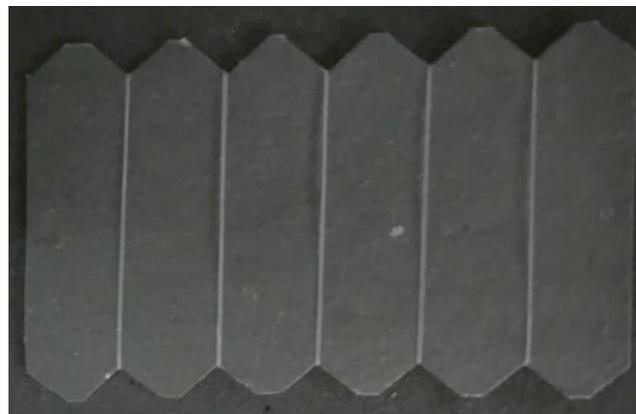
Proses ekstrusi adalah proses yang terjadi saat lelehan polimer didorong melalui *extruder* menuju bagian *spin pack* hingga keluar melalui *spinneret*.^{7,8,11-13} Kecepatan proses ekstrusi ini perlu diatur agar nomor benang yang dihasilkan sesuai dengan perencanaan. Mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini memiliki *spinneret* dengan 28 lubang, dimana diameter lubang *spinneret* adalah 0,08 cm. Pada saat uji performa mesin menggunakan bahan baku, rasio massa polimer serat yang didapatkan adalah 11,58 g/menit dengan massa jenis HDPE adalah 0,97 g/cm³. Jika mengikuti persamaan (2), maka kecepatan ekstrusi polimer pada saat uji performa bahan baku tersebut adalah 0,85 meter/menit atau 0,014 ms⁻¹.

Perkiraan diameter filamen

Proses penggulangan serat filamen HDPE ini masih dilakukan tanpa adanya proses penarikan. Jika diasumsikan proses pembuatan filamen HDPE dilakukan dengan proses penarikan dan mengacu pada persamaan (3), maka perkiraan diameter filamen yang didapatkan adalah = 0,04 mm. Karena dalam satu benang tersebut terdapat 28 filamen, yang berasal dari 28 lubang *spinneret*, maka perkiraan ukuran diameter benang yang dihasilkan adalah 1,2 mm. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, terlihat bahwa setelah diasumsikan terdapat proses penarikan, diameter filamen maupun diameter benang yang dihasilkan masih cukup besar untuk diaplikasikan sebagai bahan tekstil untuk pakaian karena umumnya rata-rata diameter serat untuk bahan tekstil adalah 20,7 μm (0,02 mm)¹⁵ dan rentang diameter benang untuk bahan tekstil adalah 0,2 mm hingga 0,5 mm.¹⁶

Karakteristik Serat *High Density Polyethylene* (HDPE)

Uji coba mesin pemintalan leleh skala laboratorium menggunakan bahan baku serat HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan pengaturan mesin pada suhu ekstruder 220°C, suhu *spin pack* 200°C, kecepatan *screw* ekstruder pada frekuensi inverter 10 Hz atau 5,8 rpm, kecepatan drawing 307,72 m/menit, dan jumlah lubang *spinneret* 28 lubang telah berhasil menghasilkan serat filamen yang dapat dilihat pada Gambar 4. Serat filamen HDPE yang dihasilkan menggunakan mesin pemintalan leleh skala laboratorium ini dikarakterisasi berdasarkan titik leleh, kehalusan, kekuatan tarik dan mulur serat tersebut.



Gambar 4. Filamen serat HDPE hasil uji coba

Titik leleh serat HDPE

Pada pengujian titik leleh serat HDPE didapatkan hasil sebagaimana tercantum pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji kehalusan serat

Pengukuran	Titik leleh filamen HDPE
	(°C)
Pengukuran ke-1	138,0
Pengukuran ke-2	138,0
Pengukuran ke-3	139,0
Pengukuran ke-4	138,5
Pengukuran ke-5	138,0
Rata-rata	138,3

Dari data tersebut, didapat bahwa rata-rata titik leleh filamen HDPE adalah 138,3°C. Nilai titik leleh ini masih termasuk dalam rentang titik leleh HDPE yaitu antara 125 - 145°C.

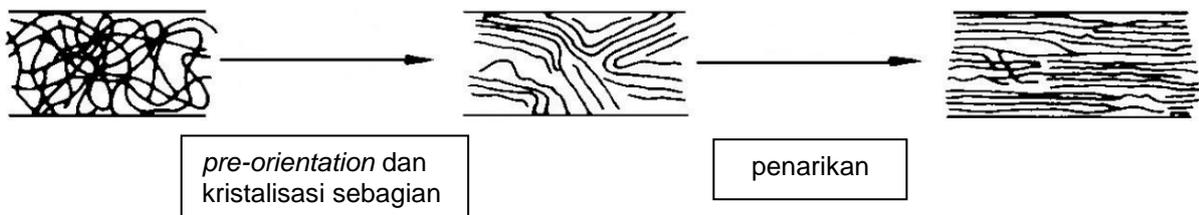
Kehalusan serat (*linear density*)

Data hasil pengujian kehalusan serat filamen HDPE adalah sebagaimana tercantum pada Tabel 6. Berdasarkan hasil uji tersebut, diketahui bahwa rata-rata kehalusan serat filamen HDPE adalah 94,6 denier.

Tabel 6. Hasil uji kehalusan serat

Pengukuran	Kehalusan serat
	(denier)
Pengukuran I	88,47
Pengukuran II	102,87
Pengukuran III	90,33
Pengukuran IV	82,92
Pengukuran V	108,19
Rata-rata	94,56

Berdasarkan nilai kehalusan serat ini (94,56 denier per filamen), terlihat bahwa serat filamen HDPE yang dihasilkan masih sangat kasar, karena saat ini para pembuat serat sintetik untuk bahan tekstil telah mampu membuat serat sintetik yang halus yaitu 1,5 denier per filamennya.¹⁷ Besarnya nilai kehalusan serat filamen HDPE ini adalah serat filamen hasil *spinneret* dan masih belum dilakukan proses penarikan. Proses penarikan akan meregangkan serat¹⁴ sehingga membantu terjadinya orientasi molekul serat sintetik dari kondisi amorf ke kondisi kristalin. Pada kondisi amorf rantai molekul serat tidak beraturan yang menyebabkan serat memiliki sifat ketahanan panas dan kestabilan terhadap bahan kimia yang buruk, plastisitas yang tinggi dan juga memiliki sifat fisika/tekstil yang rendah.⁵ Dengan adanya proses pendinginan pada saat *quenching* dan proses penarikan akan menaikkan keteraturan susunan pada struktur intra molekul serat (kondisi kristalin),^{2,5} mekanisme ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses pembentukan kondisi kristalin pada pemintalan leleh⁵

Kekuatan tarik dan mulur serat

Data hasil pengujian kekuatan tarik dan mulur filamen HDPE tercantum pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji kekuatan tarik dan mulur

Pengukuran	Mulur	Kekuatan tarik	Tenacity	Waktu putus	Linear density
	(%)	(cN)	cN/tex	(detik)	(tex)
Pengukuran I	5,66	26,19	2,01	3,41	13,00
Pengukuran II	6,43	22,75	1,75	3,85	
Pengukuran III	1,63	22,98	1,77	0,97	
Pengukuran IV	2,17	14,94	1,15	1,30	
Pengukuran V	3,81	25,05	1,93	2,28	
Rata - rata	3,94	22,38	1,72	2,36	13,00

Berdasarkan data pengujian tersebut didapatkan rata-rata kekuatan tarik serat HDPE yang dihasilkan menggunakan mesin pemintalan leleh mini secara berurutan adalah 22,38 cN dan 3,94%.

KESIMPULAN

Kegiatan rancang bangun ini menghasilkan satu unit mesin pemintalan leleh skala laboratorium dengan spesifikasi sesuai rancangan. Uji performa mesin memperlihatkan seluruh bagian dapat berfungsi dengan baik. Elemen pemanas pada ekstruder mampu mencapai suhu untuk proses pelelehan polimer yang ditargetkan yaitu 300°C. Rol godet pada bagian *drawing* dan *winding* telah berputar dengan kecepatan permukaan 307,72 m/menit. Uji coba pembuatan serat menggunakan kepingan HDPE dapat menghasilkan serat dengan rata-rata kecepatan ekstrusi 0,85 meter/menit. Karakteristik serat HDPE yang dihasilkan memiliki titik leleh 138,3°C, kehalusan filamen 94,56 denier, kekuatan tarik 22,38 cN, dan mulur 3,94%. Kemampuan mesin ini dapat

dikembangkan lagi untuk memperbanyak variasi penelitian. Pengembangan tersebut antara lain dengan melakukan variasi bentuk lubang dan ukuran *spinneret*, modifikasi kecepatan *drawing* dan *winding*, atau modifikasi ekstrusi menggunakan sistem dua ekstrusi. Selain itu, masih diperlukan penyetelan antara bagian *spinning* hingga proses penggulungan dan percobaan produksi lebih lanjut sehingga ditemukan pengaturan mesin yang tepat untuk pembuatan benang filamen.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jawaid, M. & Thariq, M. *Sustainable composites for aerospace applications*. (Elsevier Ltd., 2018). doi:10.1016/C2016-0-01691-1.
 2. McIntyre, J. E. *Synthetic fibres: nylon, polyester, acrylic, polyolefin*. (Woodhead Publishing Limited, 2005).
 3. Vigneswaran, C., M. Ananthasubramanian & P. Kandhavadi. *Bioprocessing of Textiles*. (Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2014). doi:10.1201/b18909.
 4. Naeimirad, M. *et al.* Recent advances in core/shell bicomponent fibers and nanofibers: A review. *J. Appl. Polym. Sci.* **135**, (2018).
 5. Andreoli, C. & Freti, F. *Reference Books of Textile Technology: Man-made Fibres*. (Fondazione ACIMIT, 2004).
 6. Matyiazewski, K. & Möller, M. *Polymer Science - Chain Polymerization of Vinyl Monomers*. vol. 3 (2013).
 7. Dong Zhang. *Advances in filament yarn spinning of textiles and polymers*. (Woodhead Publishing Limited, 2014).
 8. Mignanelli, M., Wani, K., Ballato, J., Foulger, S. & Brown, P. Polymer microstructured fibers by one-step extrusion. *Opt. Express* **15**, 6183 (2007).
 9. Kirstein, T. *Multidisciplinary know-how for smart-textiles developers*. (Woodhead Publishing Ltd., 2013). doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
 10. Beyreuther, R. & Brüning, H. *Dynamics of Fibre Formation and Processing. Dynamics of Fibre Formation and Processing* (Springer, 2007). doi:10.1007/978-3-540-46223-1.
 11. Dias, T. *Electronic Textiles: Smart Fabrics and Wearable Technology. Electronic Textiles* (Elsevier Ltd., 2015). doi:10.1016/b978-0-08-100201-8.09979-3.
 12. Doufas, A. K., McHugh, A. J. & Miller, C. Simulation of *melt spinning* including flow-induced crystallization Part I. Model development and predictions. *J. Nonnewton. Fluid Mech.* **92**, 27–66 (2000).
 13. Matyjaszewski, K. & Moller, M. *Polymer Science : a Comprehensive Reference*. vol. 4 (Elsevier Inc., 2013).
 14. Gupta, V. B. & V.K. Kothari. *Manufactured Fibre Technology. Manufactured Fibre Technology* (Springer, 1997). doi:10.1007/978-94-011-5854-1.
 15. Vasconcelos, G., Camões, A., Martins, A., Jesus, C. & Luciana Silva. Experimental characterization of gypsum-cork composite material reinforced with textile fibers. in *Portuguese Conference on Fracture* (2014).
 16. Muth, J. F. *et al.* Signal propagation and multiplexing challenges in electronic textiles. *Mater. Res. Soc. Symp. - Proc.* **736**, 13–23 (2003).
 17. Lord, P. R. *Handbook of Yarn Production*. (Woodhead Publishing Limited, 2003). doi:10.1201/9780203489710.
-

STRATEGI PENGEMBANGAN TEKNOLOGI TEKSTIL BERBASIS ANALISIS PATEN

TEXTILE TECHNOLOGY DEVELOPMENT STRATEGY BASED ON PATENT ANALYSIS

Firman Tri Ajie, Adityo Wicaksono

Pusat Penelitian Kebijakan dan Manajemen Iptek dan Inovasi – LIPI, Gd. PDDI - LIPI Lt. 4, Jl. Jend. Gatot Subroto Kav. 10, Jakarta Selatan, Telp. (021) 5201602
E-mail: firmantriajie@gmail.com, a.wicaksono@uqconnect.edu.au

ABSTRAK

Terdapat kesenjangan riset dan pengembangan teknologi diantara lembaga libang pemerintah yang lebih mengutamakan aspek kebaruan epistemik dibandingkan industri tekstil yang menuntut unsur kebaruan inkremental dari produk sebelumnya. Ini menyebabkan minimnya hasil riset dan pengembangan di Indonesia yang dapat dimanfaatkan secara global. Aktor riset dan pengembangan di Indonesia jarang menerapkan strategi memposisikan diri terhadap aktor-aktor di kancah internasional, mereka enggan menyelidiki tren teknologi yang kini sedang berkembang dalam bentuk paten, khususnya di bidang tekstil. Disinilah analisis paten sangat diperlukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan penelusuran paten yang berkesesuaian dengan kata kunci. Tahapan selanjutnya melakukan analisis paten berdasarkan IPC, organisasi, kluster teknologi dan yurisdiksi, menjadi tema-tema potensial untuk riset dan pengembangan. Temuan penelitian dihasilkan beberapa peta teknologi seperti benang campuran, kain tekstil, mesin tekstil, material tekstil, serat tekstil, produk tekstil, dan katun sebagai topik yang mendominasi pada bidang tekstil. Secara garis besar, penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dengan menyediakan peta teknologi untuk riset dan pengembangan tekstil di Indonesia. Lebih lanjut, secara praktis penelitian ini memberikan petunjuk bagi industri dan lembaga riset publik mengenai dua alternatif strategi riset dan pengembangan, yakni mengikuti jejak perusahaan raksasa atau menjajaki celah teknologi yang minim pesaing.

Kata kunci: analisis paten, peta teknologi, tekstil, *technology forecasting*

ABSTRACT

There is a technology research and development (R&D) gap between public research institutes (PRIs) that promote epistemic novelty rather than Indonesian textile industries, which wants aims to pursue incremental improvements from their previous products. Hence, this situation causes a lack of R&D results in usability in the global market. Indonesian R&D actors are rarely to position themselves against international actors. Moreover, they are reluctant to investigate the contemporary technological trend in forms of patents (especially in textile). This is why patent analysis is essential. The research method by conducting a patent search related to textile keyword and analyzing patent based on international patent classification (IPC), organization, cluster of technology, jurisdiction, and synthesizing extensive patent information into potential themes for R&D. As a result, blended yarn, textile machinery, fabric, textile product, cotton are the R&D topic dominates in textile technology. In addition, it helps to generate ideas, foresight, and investigating competitor technological development effort. Overall, this research provides theoretical contribution by depicting a technological map for textile R&D in Indonesia. This research also helps industries and PRIs in determining their R&D strategies by highlighting two alternative strategies, which is following the path of the giants or pursuing technological gaps with a minimum competition.

Keywords: *patent analysis, technology mapping, textile, technology forecasting*

PENDAHULUAN

Produksi tekstil secara intrinsik terkait dengan asal muasal manusia. Sandang, pangan dan papan, dianggap sebagai kebutuhan dasar manusia. Selain itu, ini adalah bentuk ekspresi diri yang menjadi lebih penting bagi individu dan kelompok sosial (Ha-Brookshire dan Labat, 2015). Industri tekstil telah dan masih memainkan peran besar dalam Revolusi Industri. Industri tekstil dan pakaian jadi mencakup perolehan bahan mentah, pemintalan, penununan dan rajutan, pencelupan dan pencetakan, produksi dan penjualan (Ülgen dan Forslund, 2015).

Semua bermula pada saat terjadinya revolusi industri pertama yang telah memaksa adanya perubahan pada pola produksi dalam dunia industri yang terpengaruhi oleh pola konsumsi pada masyarakat sosial. Dalam konteks persaingan yang semakin ketat, tingkat kebutuhan akan teknologi yang semakin berkembang diiringi

dengan kebutuhan respon yang lebih cepat dalam menjawab keinginan dan perilaku pasar, dituntut pengambilan keputusan secara dinamis dan responsif. Sementara itu, permintaan akan produk yang fungsional disertai dengan tuntutan tanggung jawab sosial dan lingkungan yang tidak dapat diabaikan. Sehingga perubahan struktur organisasi menjadi sebuah kebutuhan fundamental untuk dapat beradaptasi dalam pengembangan produk baru (Lu et al., 2007; Duarte et al., 2017). Hingga berkembang pada saat ini menjadi revolusi industri 4.0 yang mulai bergaung pada tahun 2011 di Hannover, Jerman dan telah dicanangkan oleh pemerintah Indonesia sebagai bagian transformasi industri di Indonesia masa mendatang.

Revolusi Industri Keempat, juga disebut Industri 4.0, mewakili perubahan besar dalam struktur organisasi industri. Untuk pertama kalinya, revolusi industri dievaluasi secara apriori dan bukan ex-post, yang dengan kata lain berarti prediksi tentang apa yang akan terjadi dan bukan evaluasi atas apa yang telah terjadi (Hermann et al., 2015). Sebagai hasilnya, perkembangan industri akan berkembang ke arah kecerdasan buatan serta *Internet of Things* dan *Big Data*, menjadi salah satu bagian penting yang akan menentukan hasil akhir kompetisi di pasar industri secara global.

Untuk mensikapi perkembangan teknologi terutama persaingan dalam mempertahankan eksistensi sebuah negara, diperlukan strategi yang dianggap mumpuni untuk dapat beradaptasi dan berkolaborasi. Salah satu yang menjadi kunci utama dalam beradaptasi adalah perlunya manajemen strategi riset dan pengembangan yang baik. Saat ini, manajemen strategi riset dan pengembangan yang dilakukan oleh lembaga riset publik, universitas, serta industri di Indonesia memiliki format yang bervariasi dan tidak saling sinkron satu dengan yang lainnya. Lembaga riset publik lebih mementingkan pencapaian kebaruan epistemik yang tertuang dalam publikasi, sedangkan paten menjadi prioritas kedua. Universitas lebih mengutamakan fungsinya sebagai institusi pengajaran dan menjadikan pencapaian publikasi sebagai prioritas kedua (Hidayat, 2008). Lembaga riset publik dan universitas hingga kini masih cenderung kuat menggunakan paradigma riset dan inovasi dengan pola *technology push*, dimana para peneliti bertumpu pada upaya menghasilkan teknologi atas dasar ide tanpa mempertimbangkan permintaan.

Di sisi lain, industri lebih mementingkan riset dan pengembangan untuk kepentingan perbaikan yang inkremental dari produk-produk sebelumnya. Jadi tidak ada keselarasan dalam riset dan pengembangan yang dilakukan antara entitas lembaga riset publik, universitas, dan industri. Kerja sama antar entitas seringkali terjadi dengan pola proyek penelitian yang tidak berkelanjutan. Hal ini terjadi hampir di semua bidang riset, termasuk bidang tekstil. Lebih lanjut, tiga entitas ini sangat jarang melihat tren teknologi yang kini sedang berkembang di dunia, dan tidak pernah memposisikan diri terhadap entitas global yang ada. Sebagai dampak, meski Industri tekstil Indonesia termasuk kedalam *Big 5* komoditas yang memberikan sumbangan terbesar pada pendapatan negara dan dikenal di manca negara, namun riset tekstil Indonesia masih kurang dikenal. Sehingga dibutuhkan penguatan penentuan pola pengembangan riset tekstil yang dapat menjadi fondasi kuat bagi keberlangsungan industri tekstil nasional.

Pada literatur terdahulu, telah banyak dibahas mengenai manajemen dan strategi riset dan pengembangan. Jika ditelaah secara longitudinal, hingga kini terdapat lima generasi manajemen riset dan pengembangan. Tiga generasi awal dari pola manajemen tersebut merupakan model linear yang kurang efektif mencapai komersialisasi (Miller, 2015). Generasi keempat mendeskripsikan riset dan pengembangan dengan karakteristik integratif, yang melibatkan pembelajaran dari pengguna, dan menggunakan struktur aktifitas paralel antar tim yang berbeda fungsi (Miller & Morris, 1998). Sedangkan pada generasi kelima riset dan pengembangan dijabarkan sebagai jaringan yang terintegrasi dan kolaboratif, serta melibatkan penyedia, pesaing, dan distributor (Chiesa, 2001; Nobelius, 2004). Pada generasi kelima ini disebutkan perlunya melibatkan pesaing.

Lebih lanjut dalam hal pesaing, manajemen riset dan pengembangan dapat dikaitkan dengan literatur pemasaran, dimana terdapat strategi memposisikan diri terhadap pesaing (*positioning strategy*). Strategi memposisikan diri telah lama dikenal dengan definisi pemilihan target segmen pasar yang menjabarkan pembeli yang akan dilayani perusahaan, dan pemilihan keunggulan serta bagaimana bersaing dengan kompetitor (Doyle, 1983). Definisi tersebut menjelaskan strategi memposisikan diri ke dalam tiga komponen penting yang saling berkaitan, yakni target pembeli, target pesaing, dan keunggulan kompetitif (Brooksbank, 1994). Namun sangat disayangkan, sebagian besar aktor riset dan pengembangan di Indonesia jarang sekali menggunakan strategi ini. Tidak heran jika para peneliti tidak mengetahui siapa pembeli, pesaing, dan keunggulan kompetitif dari riset yang dihasilkan, karena secara institusi tidak memposisikan diri bersaing secara nasional maupun internasional.

Salah satu hambatan besar dalam riset dan pengembangan untuk bertransformasi ke arah manajemen generasi kelima adalah melekatnya paradigma lama yakni *technology-push* versus *demand-pull*. Hal ini telah lama menjadi perdebatan para cendekiawan sejak konsep permintaan pasar dalam inovasi dikemukakan Mowery dan Rosenberg (1979). Kini, mengetahui permintaan pasar terhadap riset dan pengembangan menjadi penting dibandingkan sebelumnya. Dalam konteks perusahaan swasta, ketidak-jelasan dan kurangnya permintaan pasar dapat menyebabkan keengganan perusahaan untuk berinvestasi serta melakukan aktifitas

riset dan pengembangan (Garcia-Quevedo, Pellegrino, & Savona, 2016). Berbeda dengan lembaga riset publik dan universitas, kedua entitas ini cenderung kurang memperhatikan permintaan pasar dalam strategi riset dan pengembangannya. Jika Indonesia ingin mencapai visinya yang tertuang dalam Rencana Induk Riset Nasional 2017-2045, yakni "Menciptakan keunggulan kompetitif bangsa secara global berbasis riset" (Kemenristekdikti, 2017), maka diperlukan perubahan strategi yang drastis. Strategi baru tersebut perlu memperhatikan celah dan arah para produsen teknologi yang tergambarkan pada tren paten dunia, khususnya di bidang tekstil. Setelah memiliki arah yang jelas, maka ketiga entitas dapat bergerak selaras menuju arah yang sama. Atas kebutuhan inilah studi strategi pengembangan teknologi tekstil berbasis analisis paten dilaksanakan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis paten untuk mendapatkan pola perkembangan teknologi berdasarkan pada dokumen paten yang ada di dunia terkait kata kunci yang digunakan. Analisis paten sangat berguna untuk memeriksa kemampuan pesaing dan kompetisi teknologi (Narin & Noma, 1987; Abraham & Moitra, 2001). Melalui analisis ini dapat diketahui seberapa besar dan seberapa jauh kemampuan kompetitor dalam menghasilkan teknologi. Oleh karena itu analisis paten sangat cocok untuk digunakan dalam menentukan pilihan-pilihan dalam memposisikan diri bagi lembaga riset dan industri (khususnya tekstil) di Indonesia untuk berada dalam peta persaingan teknologi dunia. Adapun alat analisis yang digunakan adalah *software* Innography, salah satu aplikasi analisis paten daring berbayar dari *CPA Global Group* yang biasa digunakan bukan hanya untuk menganalisis tren paten tetapi juga digunakan untuk beberapa kepentingan seperti analisis kompetitif pasar, proses merger dan akuisisi teknologi atau bahkan digunakan sebagai *tools* dalam mengambil keputusan dalam menentukan kustomer potensial.

Secara mendasar analisis paten dilaksanakan dalam tiga tahap. Pertama, melakukan penelusuran dengan menggunakan kata kunci sesuai fenomena atau topik penelitian. Kedua, memilih dan menganalisis dokumen paten hasil penelusuran. Ketiga, menjelaskan secara deskriptif pola-pola yang muncul dari hasil analisis. Analisis paten yang dilakukan dalam penelitian ini menitikberatkan pada temuan yang berupa tren pada kelas teknologi dominan (International Patent Class / IPC), pendaftar patent dominan (organisasi atau perusahaan), dan tema yang muncul pada kluster teks paten aktif. Hasil analisis akan dibahas pada bagian selanjutnya.

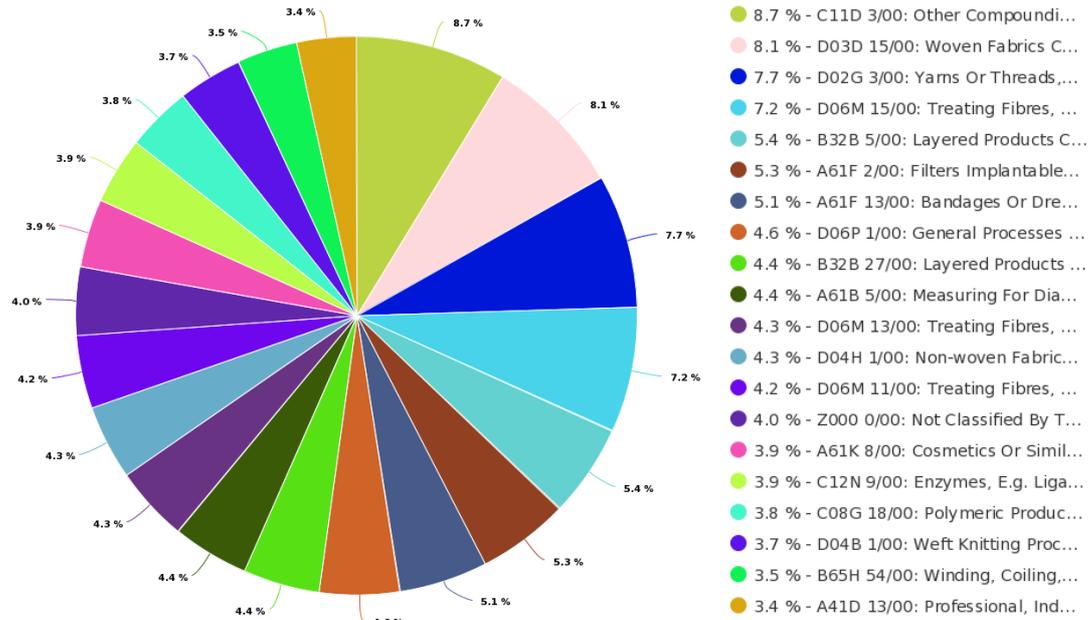
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelusuran dengan menggunakan kata kunci "textile" didapatkan 183.845 dokumen paten aktif. Jumlah paten kemudian disortir dengan menaikkan level kekuatan menjadi 1-10, dan didapatkan 88.895 paten untuk dianalisis. Hasil analisis pertama adalah sepuluh IPC dominan (lihat gambar 1), yang mencakup C11D-3/00, D03D-15/00, D02G-3/00, D06M-15/00, B32B-5/00, A61F-2/00, A61F-13/00, D06P-1/00, B32B-27/00, dan A61B-5/00. Adanya dominasi IPC ini menunjukkan bahwa tren teknologi mengarah pada sepuluh kelas tersebut, yakni campuran deterjen untuk tekstil, kain tenun, benang, perlakuan untuk serat, produk berlapis dengan struktur non-homogen, filter implant tubuh, perban, proses pewarnaan tekstil, produk berlapis resin sintesis, dan pengukuran untuk diagnosis.

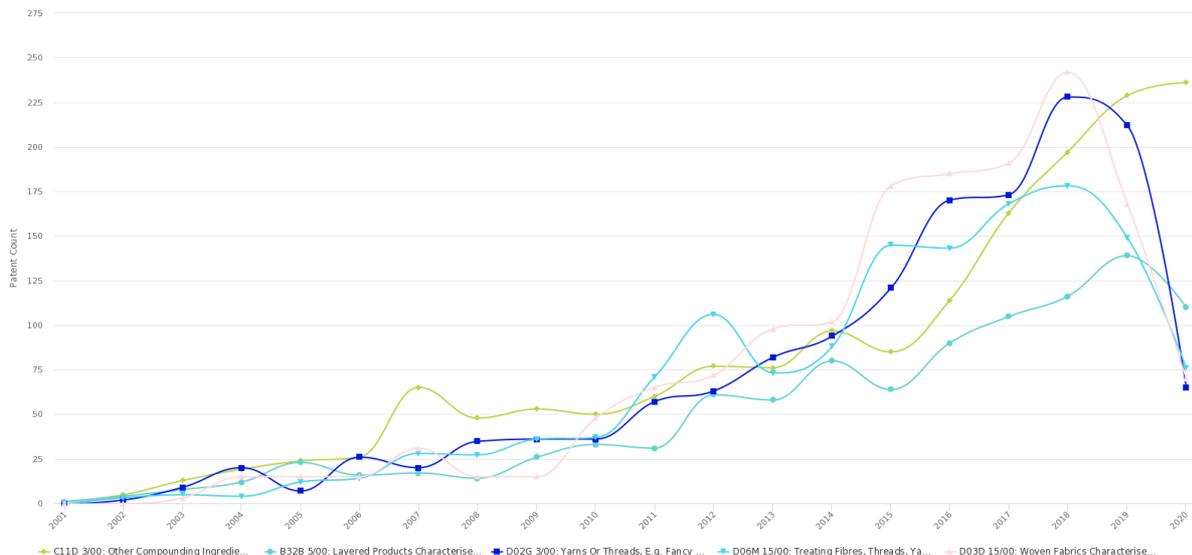
Lima (C11D-3/00, D03D-15/00, D02G-3/00, D06M-15/00, dan B32B-5/00) dari sepuluh IPC terkait tekstil mengalami tren yang berfluktuasi (lihat gambar 2). Berawal dengan tren kenaikan yang gradual dari tahun 2001 hingga 2014. Grafik tersebut dilanjutkan dengan tren kenaikan yang cukup tajam dari tahun 2014 hingga 2018. Kemudian mulai tahun 2019 hingga 2020 terjadi penurunan tajam di keempat IPC; hanya kelas campuran deterjen yang terus mengalami kenaikan. Penurunan tajam di tahun 2020 ini kemungkinan dikarenakan oleh pandemi Covid 19, dimana industri tekstil dan pakaian mengalami penurunan performa yang cukup drastis. Hal ini menyebabkan upaya dan investasi pada riset dan pengembangan pun terhenti.

Jika diurai satu per satu untuk lima IPC teratas yang memiliki tren perkembangan teknologi terbesar adalah sebagai berikut:

1. C11D-3/00 termasuk kedalam IPC- Chemistry yang berisikan teknologi yang berkaitan dengan *surface active non soap-detergent* atau didapat dikelompokkan kedalam surfaktan non ionic deterjen. Perkembangan teknologi surfaktan pada 20 tahun terakhir (lihat gambar 2) menunjukkan tren yang meningkat dari tahun ketahun, meski pada tahun 2008 dan 2015 mengalami penurunan tetapi tren secara keseluruhan terus meningkat hingga tahun 2020. Dalam industri tekstil, surfaktan dikonsumsi oleh hampir semua proses dari tahap persiapan dan pemutihan hingga penyelesaian kain. Setelah proses pencelupan dan pencetakan, biasanya kain mengalami satu atau beberapa kali pencucian di mana surfaktan digunakan sebagai agen pencuci, yang seringkali menyebabkan masalah pencemaran pada air limbah karena adanya busa dan kekurangan biodegradabilitas. Sehingga jika melihat tren perkembangan teknologinya, beberapa isu yang mengemukakan dalam IPC ini adalah kebutuhan surfaktan inorganic dikarenakan faktor ekonomis, tetapi *biodegradable* sehingga memiliki nilai lingkungan yang cukup baik karena akan menekan isu pencemaran lingkungan yang sering menjadi momok industri tekstil di berbagai belahan dunia.



Gambar 1. IPC Dominan



Gambar 2. Tren pada 5 IPC Dominan

- D03D-15/00, termasuk didalam IPC – Tekstil yang berisikan teknologi yang berkaitan dengan *Woven fabrics characterised by the material or construction of the yarn or other warp or weft elements used*. IPC D03D mengulas mengenai teknik penenunan kain, namun pada turunan kelas D03D-15/00 mengulas mengenai berbagai perlakuan penenunan yang dapat memberikan karakter baru dengan penambahan material pendukung. Seperti karakter yang dapat meminimalisir pengkerutan dalam kain, ketahanan terhadap panas atau api, keelastisan bahan, teknik tenun yang dapat menghasilkan kain yang memiliki friksi rendah atau tinggi, serta penambahan *scaffolding material* untuk kain. Untuk IPC ini, dapat ditarik hipotesis bahwa perkembangan teknologi tekstil telah mengarah pada *functional textiles*.
- D02G-3/00 termasuk didalam IPC – Tekstil yang berisikan teknologi yang berkaitan dengan teknik dan metoda *Crimping or Curling fibres, filament, yarns or thread: Yarns or Threads*, terutama untuk jenis bahan yang memiliki nilai ekonomis/harga tinggi. Menurut ISO 10132:1993 tentang Benang Tekstur Poliester, *crimp* adalah tekstur bergelombang pada benang filamen proses texturing ini ditujukan untuk meningkatkan karakter dari benang terhadap beberapa kondisi seperti daya tahan kusut, stabilitas dimensi

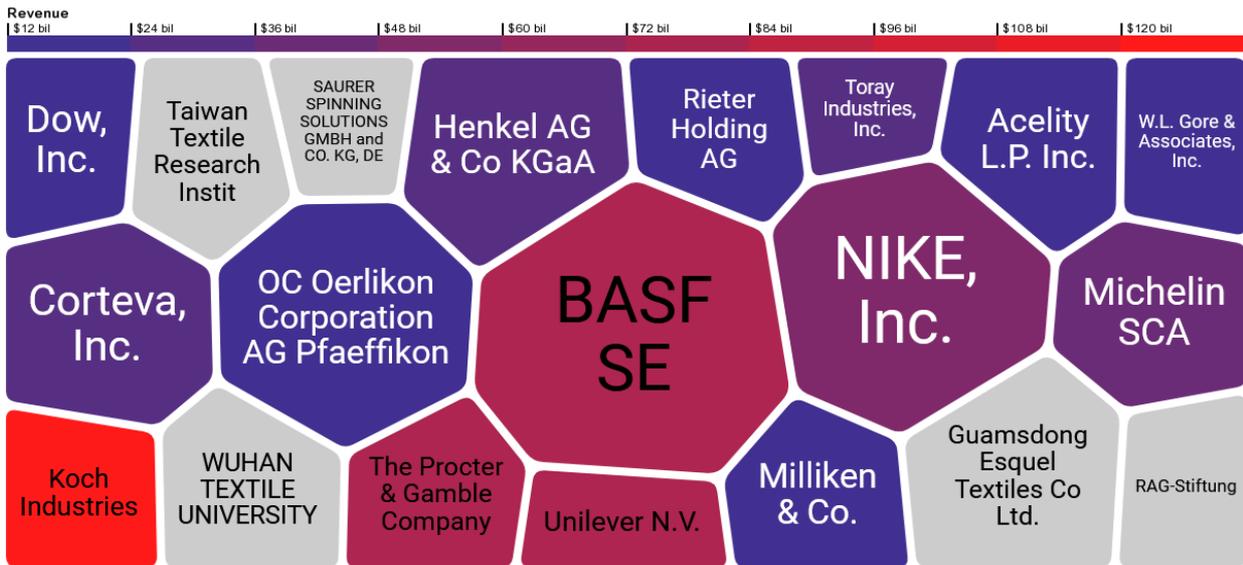
- dan bentuk benang, kenyamanan pemakaian kemudahan pencucian dll. (Sjaifudin et.al, 2018). Namun pada IPC ini penggunaan bahan benang sedikit berbeda karena penggunaan bahan yang kurang umum digunakan seperti rambut kuda, serat kertas, metallic, asbes ataupun bahan yang bisa dikategorikan sebagai bahan dekoratif.
4. D06M-15/00, termasuk didalam IPC – Tekstil yang berisikan teknologi yang berkaitan dengan *Treating fibres, threads, yarns, fabrics, or fibrous goods made from such materials, with macromolecular compounds; Such treatment combined with mechanical treatment combined with mechanical treatment*. Pada IPC ini dijelaskan perlakuan bahan benang yang dikombinasikan dengan senyawa makromolekul seperti penggunaan polymer dan co-polymer lain seperti polyamide, polyamine dll. Teknologi dalam kelas ini dapat dikategorikan teknologi yang ditujukan untuk *smart textile*. Contoh: material *Polyether Block Amide* (PEBA), merupakan material yang banyak digunakan untuk peralatan olahraga seperti sepatu, seragam atau bahkan untuk dunia medis sekalipun seperti penggunaannya untuk bahan campuran kateter jantung. Material ini memiliki berbagai karakter yang unik seperti keelastisan, *breathable*, *anti static*, *antidust* dll. Dan diyakini hanya beberapa perusahaan saja yang menguasai teknologi ini diantaranya Arkema (USA) dan Evonik (Germany).
 5. B32B-5/00, termasuk didalam IPC – *performance operation* yang berisikan teknologi yang berkaitan dengan *Layered Products*. Pada kelas ini, produk berlapis yang terdiri dari berbagai jenis bahan atau produk berlapis yang dikarakterisasi oleh jenis bahan tertentu yang digunakan. Pada IPC B32B-5/00 diungkap mengenai struktur yang dibentuk akibat perpaduan 2 atau beberapa material yang memberikan perubahan karakter produk akibat penggunaan material tertentu. IPC ini sangat erat kaitannya dengan IPC D06M-15/00 yang telah diulas sebelumnya. Jika IPC D06M-15/00 mengungkap proses perlakuan (metoda) penggabungan 2 atau lebih senyawa kimia, pada IPC ini berhubungan dengan karakter struktur penggabungan 2 atau lebih senyawa kimia yang digunakan.

Lebih lanjut diperlihatkan 20 organisasi pendaftar paten tekstil yang paling dominan di dunia (lihat gambar 3). Sebagian besar dari organisasi tersebut adalah perusahaan swasta yang berukuran besar. Perusahaan yang tercakup dalam daftar ini adalah BASF, NIKE, OC Oerlikon, Henkel, Guamsdong Esquel, Corteva, Acelity, Unilever, Michelin, Rieter, Milliken, Dow, W.L. Gore, P&G, Saurer Spinning, RAG-Stiftung, Koch, dan Toray. Terdapat pula lembaga riset dan universitas, yakni Taiwan Textile Research Institute dan Wuhan Textile University. Dua puluh organisasi ini dapat dijadikan acuan sebagai pesaing atau pembandingan dalam menentukan strategi memposisikan diri.

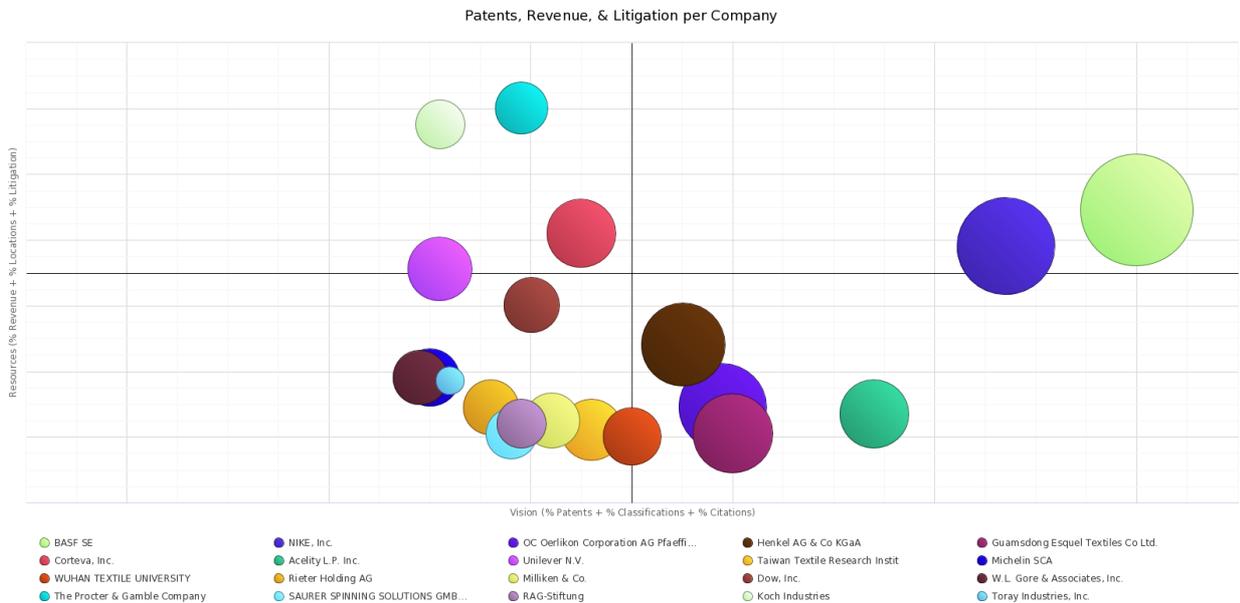
Semakin besar oktagon, mewakili berapa banyak paten yang dimiliki oleh perusahaan atau lembaga tersebut. Sedangkan untuk warna mewakili besaran *revenue* per tahun dari masing-masing perusahaan. Jika dilihat dari besaran oktagon, rata-rata memiliki ukuran yang tidak jauh berbeda satu sama lain. Ini menandakan paten yang berhubungan dengan teknologi bidang tekstil, tidak dijumpai pemilik teknologi yang dominan dibanding yang lain sehingga dapat dikatakan tingkat persaingan dalam teknologi tekstil cukup merata meski dari sisi *revenue* terdapat perbedaan yang cukup signifikan.

Untuk tingkat *revenue*, warna abu dari oktagon menandakan si pemilik teknologi tidak memiliki *revenue* dari bisnis yang dijalankan, beberapa lembaga seperti Taiwan Textile Research Institute dan Wuhan Textile University merupakan lembaga milik pemerintah yang tidak dibebani target untuk menghasilkan *revenue*. Namun beberapa perusahaan lain tidak tercatat *revenue* dapat ditenggarai perusahaan tidak melakukan pencatatan atas *revenue* perusahaan atau patenn yang dimiliki tidak dilisensikan pada pihak lain.

Dalam hal memposisikan diri software Innography menyediakan matriks yang menempatkan organisasi pendaftar paten berdasarkan sumber daya (sumbu x) dan jumlah paten, pendapatan, serta litigasi (sumbu y). Posisi paling kuat adalah posisi pada kanan atas matriks, sedangkan yang paling lemah adalah pada kiri bawah matriks (lihat gambar 4). Matriks kanan atas biasanya ditempati perusahaan pionir global dalam bidangnya, untuk bidang tekstil ini adalah BASF dan NIKE. Sedangkan bagian kiri bawah ditempati organisasi lama namun kurang kuat keberadaannya secara internasional atau perusahaan yang baru masuk atau ekspansi ke dalam persaingan dunia di bidang tekstil. Dari matriks ini dapat diketahui fakta menarik, dimana hanya terdapat satu institusi riset publik (Taiwan Textile Research Institute) dan satu universitas (Wuhan Textile University). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat peluang bagi institusi riset dan universitas untuk bersaing di bidang ini, tentu diawali dengan masuk pada posisi matriks di kiri bawah dan bersaing dengan banyak kompetitor. Strategi yang dapat diadopsi oleh aktor-aktor di Indonesia agar dapat bersaing adalah dengan mencari celah teknologi yang belum menjadi tren (atau belum banyak diminati) namun berpotensi diaplikasikan secara internasional. Sehingga, jika memiliki teknologi dengan karakteristik tersebut dapat didaftarkan di beberapa negara (lokasi). Dengan demikian nama entitas Indonesia dapat mencuat di dalam matriks posisi ini.

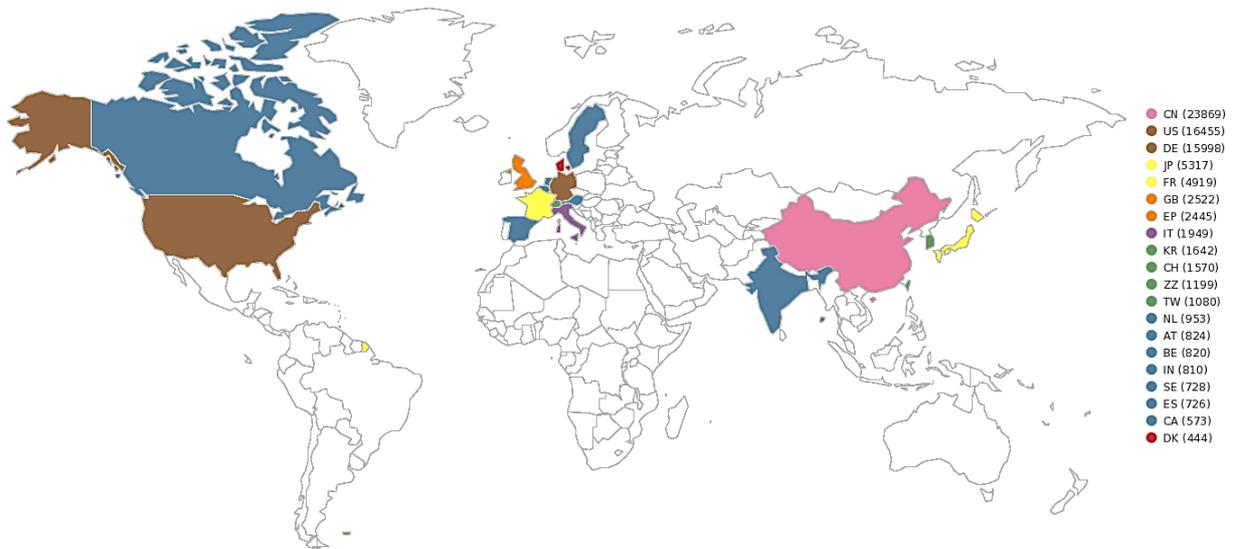


Gambar 3. Pendaftar Paten Dominan



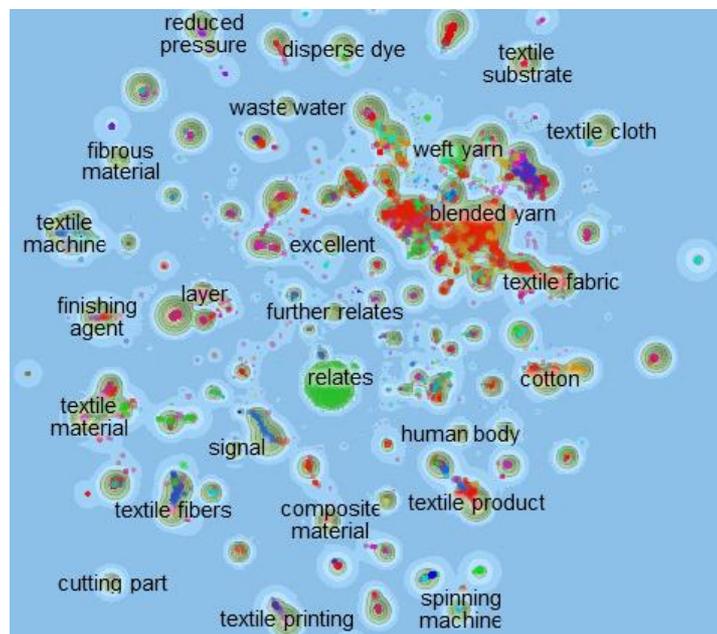
Gambar 4. Matriks Posisi Relatif Organisasi Pendaftar Paten Dominan

Selanjutnya dalam hasil pemetaan negara asal yurisdiksi, dapat diketahui bahwa terdapat lima negara yang cukup dominan sebagai penghasil paten tekstil. Kelima negara tersebut adalah China (23.869 paten), Amerika Serikat (16.455 paten), Jerman (15.998), Jepang (5.317 paten), dan Perancis (4.919 paten). Tingginya jumlah paten di China dan Amerika Serikat menunjukkan adanya persaingan yang ketat baik secara domestik di dalam kedua negara tersebut, serta persaingan antar keduanya. Belum dijumpai paten yang terdaftar dalam yurisdiksi negara Indonesia, hal ini disebabkan karena Indonesia meski sebagai produsen produk tekstil dipandang bukan penghasil teknologi tekstil. Indonesia diposisikan sebagai *adopter* teknologi, sehingga para pemilik teknologi tidak mendaftarkan teknologi tersebut di Indonesia karena Indonesia bukan bagian kompetitor yang perlu diwaspadai. Terlalu awal bagi Indonesia jika harus bersaing dengan kedua negara dominan tersebut. Untuk itu sebaiknya Indonesia dapat melakukan internasionalisasi patennya pada lokasi yang lebih minim persaingan, seperti di negara-negara eropa dengan mendaftarkan di kantor paten eropa (EPO).



Gambar 5. Negara Asal Yurisdiksi Paten Tekstil Dominan

Hasil analisis kluster teks berdasarkan 88.895 dokumen paten, memperlihatkan adanya beberapa tema besar dan tema kecil (lihat gambar 6). Tema besar yang muncul antara lain adalah benang campuran (*blended yarn*), kain tekstil, mesin tekstil, material tekstil, serat tekstil, produk tekstil, dan katun. Sedangkan tema kecil yang muncul dari hasil analisis mencakup substrat tekstil, zat warna dispersi, air limbah, material berserat, benang tenun, bahan kimia penyempurnaan, pencapan tekstil, dan mesin pemintalan. Tema-tema ini dapat memberikan gambaran atau sebagai landasan ide atau topik dalam riset dan pengembangan. Jika akan mengikuti tren teknologi, maka dapat memilih tema-tema besar. Sedangkan jika mencari celah maka dapat memilih tema-tema lain dalam lanskap teknologi tekstil ini.



Gambar 6. Kluster Teks Paten Tekstil

Lebih lanjut hasil temuan dari analisis ini disintesis untuk mendapatkan alternatif strategi riset dan pengembangan di Indonesia (lihat tabel 1). Melalui sintesis ini diperoleh dua opsi, yakni (1) mengikuti tren teknologi yang sedang berkembang dengan mengamati jejak langkah perusahaan besar dunia sebagai pionir di bidang tekstil, dan (2) mencari celah teknologi yang belum banyak dikembangkan oleh para aktor dominan dengan melihat tren IPC dan tema kecil pada kluster teks.

Tabel 1. Sintesis hasil temuan

Strategi	Acuan IPC	Acuan Organisasi	Acuan internasionalisasi	Acuan Tema
----------	-----------	------------------	--------------------------	------------

Mengikuti Tren Teknologi	C11D-3/00; D03D-15/00; D02G-3/00; D06M-15/00; B32B-5/00.	BASF; NIKE; OC Oerlikon; Henkel; Guamsdong Esquel.	China; Amerika Serikat; Jerman.	Benang campuran; Kain tekstil; Mesin tekstil; Material tekstil; Serat tekstil; Produk tekstil; Katun; smart tekstil
Mencari Celah	A61F-2/00; A61F-13/00; D06P-1/00; B32B-27/00; A61B-5/00.	Toray; Taiwan Textile Research Institute; Wuhan Textile University	Jepang; Eropa	Substrat tekstil; Zat warna dispersi; Air limbah; Material berserat; Benang tenun; <i>Finishing agent</i> ; Pencapan tekstil; Mesin pemintalan.

Terdapat beberapa keterbatasan dalam studi ini. Pertama, studi yang dilakukan memiliki sebaran teknologi yang terlalu luas, akan didapatkan hasil yang lebih komprehensif jika didasarkan pada teknologi bidang tekstil yang lebih spesifik. Kedua, studi dilakukan terbatas pada data paten, akan lebih komprehensif jika dilakukan penggabungan data berdasarkan *Science Citation Index*. Ketiga, studi dilakukan terbatas pada perkembangan teknologi, data-data potensi komersial dapat dijadikan data pendukung yang dapat menjadi acuan pengambilan keputusan dalam pengembangan teknologi.

Terlepas dari keterbatasan, studi strategi pengembangan teknologi berbasis analisis paten dilakukan berdasarkan pada sumber data terkini, karena data paten memberikan informasi yang akurat tentang tingkat persaingan global, perkembangan teknologi, kompetitor serta prediksi inovasi yang akan muncul dalam jangka 20 tahun mendatang.

KESIMPULAN

Forecasting atas teknologi berdasarkan peta teknologi berbasis paten merupakan tahapan yang kompleks, terutama jika ditujukan untuk melakukan penyusunan strategi pengembangan teknologi yang dapat diadopsi oleh para pengembang teknologi nasional. Hal ini disebabkan oleh proses analisis yang bersifat kualitatif sangat tergantung dari sumber data yang telah dikoleksi.

Lembaga Riset Publik, saat ini dituntut untuk melakukan pembenahan bukan hanya disisi pencapaian kebaruan epistemik semata tetapi tuntutan kebaruan teknologi yang memiliki potensi komersial yang cukup telah menjadi sebuah keharusan dalam mendukung kemandirian teknologi dalam negeri.

Pada studi ini telah dilakukan pendekatan berupa analisis peta teknologi berbasis paten sebagai opsi dalam penyusunan strategi pengembangan teknologi. Dalam penyusunannya, telah dilakukan beberapa tahapan analisis peta teknologi yang disusun untuk mempersempit pilihan teknologi yang dapat dikembangkan di Indonesia. Tahapan analisis peta teknologi terbagi atas empat (4) tahapan, diantaranya (1) Peta teknologi berdasarkan IPC, ditujukan untuk melihat tren teknologi yang dominan berkembang; (2) Peta teknologi berdasarkan organisasi, untuk melihat peta persaingan para pemilik teknologi; (3) Peta teknologi berdasarkan klaster teknologi, untuk melihat isu-isu tema teknologi yang menjadi daya tarik para pengembang teknologi; (4) Peta teknologi berdasarkan negara yurisdiksi, untuk melihat tingkat persaingan antar negara pemilik teknologi.

Hasil analisis peta teknologi berbasis paten didapatkan dua (2) alternatif strategi strategi riset dan pengembangan, yakni mengikuti jejak perusahaan besar atau menjajaki celah teknologi yang minim pesaing. Opsi strategi yang disodorkan, dilengkapi dengan rujukan tema teknologi yang dapat dikembangkan oleh lembaga riset publik di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abraham, B., & Moitra, S. (2001). Innovation assessment through patent analysis. *Technovation*, 21, 245-252.
2. Brooksbank, R. (1994). The anatomy of marketing positioning strategy. *Marketing Intelligence & Planning*, 12(4), 10-14.
3. Chiesa, V. (2001). *R&D strategy and organization*. London: Imperial College Press.
4. Doyle, P. (1983). *Marketing management*. Bradford: Bradford University Management Centre.
5. Duarte, A.Y.S.; Sanches, R.A.; Dedini, F.G. (2017). The Influence of Mass Customization and Maker Movement in the Textile and Apparel Industry. *Journal of Textile Engineering Fashion Technology*, 2(5):478-479. <https://doi.org/10.15406/jteft.2017.02.00072>

6. Garcia-Quevedo, J., Pellegrino, G., & Savona, M. (2016). Reviving demand-pull perspectives: The effect of demand uncertainty and stagnancy on R&D strategy. *Cambridge Journal of Economics*, 1-36.
 7. Ha-Brookshire, J.; Labat, K. (2015). *Envisioning textile and apparel research and education for the 21st century*. Knoxville, USA. Monography. International Textile and Apparel Association, 38 p.
 8. Hermann, M.; Pentek, T.; Otto, B. 2015. Design principles for Industries 4.0 Scenarios: a literature review. Working Paper n.01/2015, Technische Universität Dortmund, 15 p.
 9. Hidayat, D. (2008). Manajemen litbang di perguruan tinggi: Upaya mewujudkan research univesity. *Jurnal Ilmu Administrasi*, 5(2), 161-173.
 10. Kemenristekdikti. (2017). *Rencana induk riset nasional tahun 2017-2045*. Jakarta: Kemenristekdikti.
 11. Lu, S.C.-Y; Elmarachy, W.; Schuh, G.; Wilhelm, R. 2007. A Scientific Foundation of Collaborative Engineering. *Annals of the CRIP*, 56(2): 605-634. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.10.010>
 12. Miller, W. (2015). The generations of R&D and innovation management. *Wiley Encyclopedia of Management*, 13, 1-23.
 13. Miller, W., & Morris, L. (1998). *Fourth generation R&D*. New York: Wiley.
 14. Mowery, D., & Rosenberg, N. (1979). The influence of market demand upon innovation: A critical review of some recent empirical studies. *Research Policy*, 8, 102-153.
 15. Narin, G., & Noma, E. (1987). Patents as indicators of corporate technological strength. *Research Policy*, 16, 143-155.
 16. Nobelius, D. (2004). Towards the sixth generation of R&D management. *International Journal of Project Management*, 22, 369-375.
 17. Sjaifuddin, A.; Hendra, M.; Setiawan, T.; Robi'ah, S.; Moeliono, M. (2018) Rancang Bangun Prototip Mesin Benang *Bulky* Portabel Dengan Metode Roda Gigi *Crimp*, *Arena Tekstil*, 33, no.2, 65-74.
 18. Shipman, J. (1967). International patent planning. *Harvard Business Review*, 116-132.
 19. Ülgen, V.S.; Forslund, H. (2015). Logistics performance management in textiles supply chains: best practice and barriers. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 64(1): 52-75. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2013-0019>
-

PENGEMBANGAN MOTIF BATIK BUNGA TERATAI MALANGAN PADA RANCANGAN PRODUK FASHION

THE DEVELOPMENT OF MALANGAN LOTUS FLOWER BATIK MOTIF IN FASHION PRODUCT DESIGN

Syafira Audianty,¹ Sabrina Ilma Sakina²

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung 40132 Indonesia, 62-22-2501214
E-mail: ¹Syafaudi@gmail.com, ²Shapbysakina@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan daerah ternyata tidak selaras dengan perkembangan sektor tekstil di daerah Malang. Salah satunya dapat dilihat pada kesenian membatik. Kegiatan membatik erat kaitannya dengan sejarah, tradisi, etnik, dan tekstil Kota Malang. Pengembangan batik di Malang memfokuskan pada inovasi dalam bentuk, motif, gaya, warna, dan komposisi dengan ide dasar, yaitu flora Kota Malang. Terinspirasi dari ikon flora bunga teratai Malang yang menjadi acuan dalam membuat pengembangan motif pada tekstil. Pengembangan hasil eksplorasi pada penelitian ini dilakukan untuk turut membantu memperkaya tekstil dan kearifan lokal daerah Malang yang dicanangkan oleh pemerintah. Pengembangan ini juga turut andil dalam upaya meningkatkan UKM batik di Malang serta memperkuat identitas motif bagi Kota Malang sesuai profil daerahnya. Pengumpulan data dilakukan dengan metode kualitatif dan pada teknik perancangan menggunakan metode eksploratif. Hasil dari pengembangan motif ini diterapkan pada sketsa rancangan produk tekstil. Nilai kebaruan dalam pengembangan motif bunga teratai ini merupakan bentuk penyegaran dan nilai kearifan lokal bagi daerah Malang, sehingga dapat membantu meningkatkan nilai kebudayaan Malangan itu sendiri.

Kata kunci: bunga teratai, *fashion*, Malangan, motif batik, kearifan lokal

ABSTRACT

Along with the advancement of the regional development, it is still found that the textile sector in Malang have not been able to keep up with developments at this time. One of them can be seen in batik. Batik and the activity on it have a correlation between history, tradition, ethnic, and textile in Malang city. In the development of batik in Malang, it focuses on innovation in patterns, motifs, style, colour, and composition with the beauty of the flora in Malang. Inspired by the Malang lotus flower icon, which is a reference in making visual adaptation development into textile. The development of lotus flower batik motifs in this research is carried out to help enrich the local wisdom textile of Malang which is widely proclaimed by the government. This design development also contributes to increase the various batik UKM in Malang and strengthen the identity of the motifs for Malang City according to its regional profile. The methods in this research are qualitative methods and exploratory methods. The results of the motif development are applied to textile sketch product design. The newness value of this development of lotus flower motif is a form of refreshment and a way to increase the value of local wisdom for the Malang area, so it can help local people to increase the value of Malangan culture itself.

Keywords: lotus flower, *fashion*, Malangan, batik motif, local wisdom

PENDAHULUAN

Kearifan lokal adalah berbagai nilai yang diciptakan, dikembangkan dan dipertahankan oleh masyarakat yang menjadi pedoman hidup mereka.¹ Kearifan lokal diharapkan dapat membantu sebuah daerah untuk dapat mandiri dalam mengatur, mengembangkan, dan menyejahterakan masyarakat yang tinggal di dalamnya. Bentuk kearifan lokal dan budaya ini sering dijadikan pedoman dalam mengatasi tantangan keseharian masyarakat pada suatu daerah sebab, kebudayaan dapat dipandang sebagai "mekanisme kontrol" bagi kelakuan dan tindakan-tindakan manusia.²

Malang, Jawa Timur merupakan salah satu daerah penerima penghargaan Natamukti Pranata karena dianggap telah berhasil mendorong keberlangsungan Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) dan menciptakan ekosistemnya dengan sangat baik.³ Dengan penghargaan ini, daerah Malang menunjukkan bahwa potensi daerahnya dapat terus dimaksimalkan. Penghargaan ini diraih atas meningkatnya UKM di daerah Malang. Salah satu kaitan sejarah dan potensi daerah Malang yaitu julukan daerah Malang ialah Kota Bunga.⁴

Dalam *Het Zilveren Jubileum der Stads gemeente* Malang (1939), julukan Kota Bunga berawal dari Malang Tempo Dulu yang banyak diisi oleh pasar kembang dan sudah berdiri sejak tahun 1937.⁵ Keragaman

flora yang ada di Malang dijadikannya inspirasi dalam pembuatan motif batik. Ikon yang terkenal adalah Bunga Teratai. Bunga Teratai melambangkan suatu keindahan alam yang penuh kesuburan. Menurut kisah cerita hindu era kerajaan Singasari, bunga teratai merupakan salah satu jenis bunga Dewa Wisnu.⁶ Bunga Teratai juga melambangkan suatu keindahan alam yang penuh kesuburan yang diharapkan dapat dirasakan oleh masyarakat pada daerah Malang, Jawa Timur.⁶

Inspirasi flora berupa bunga teratai ini juga menjadi salah satu inspirasi daerah Malangan pada sektor kesenian batik. Batik Malangan mengharapkan adanya suatu keluhuran dari pemakainya untuk selalu berdiri tegak, berani, dan bertanggung jawab dengan penuh rasa hormat agar mampu menyatu dengan lingkungan tempat tinggal.⁶ Pembatik merangkainya dalam kerangka anyaman peristiwa selaras dengan kenyataan hidup sehingga menjadikan batik tidak hanya indah dan tinggi nilainya tetapi juga menunjukkan betapa bangsa Indonesia kaya perbendaharaan simbolik.⁷ Namun pada kondisi realitanya saat ini, Batik Malangan dalam segi ragam hias dan pembuatannya belum dapat mengikuti perkembangan jaman. Pembuatan batik dan motif Malangan diproduksi dalam jumlah yang lebih sedikit.⁸ Batik Malangan bisa disebut sebagai pendatang baru di dunia perbatikan, sebab desain yang sekarang ada adalah desain baru dari hasil lomba batik Malang yang digelar Tim Penggerak PKK Kota Malang bersamaan Hari Ulang Tahun Kota Malang 1 April 2008.⁸ Akibat hal ini, Dinas Koperasi dan Usaha Mikro Kota Malang masih terus mengadakan Lomba Desain Motif Batik Khas Malang yang diselenggarakan dalam rangka mengembangkan potensi daerah.⁹

Keunikan motif wastra batik yaitu bersifat dinamis, berkembang sesuai dengan perkembangan jaman dan sesuai dengan pengalaman psikologis dari pembatik sendiri.¹⁰ Pengembangan motif ini dapat juga turut serta meningkatkan kearifan lokal dalam bentuk kerajinan tangan. Penciptaan batik dapat didorong untuk menjadi karya seni fungsional seperti pada produk fashion dan tekstil yang dibuat langsung oleh para pengrajin Kota Malang. Sistem batik ini dapat menciptakan produk tekstil sebagai wujud eksistensi dari batik Kota Malang sebagai wujud untuk memperkenalkan batik dan ragam hias Malang pada lingkup yang lebih luas lagi. Dengan penerapannya pada produk fashion dan tekstil dapat membantu menggambarkan kebudayaan, perasaan, pemikiran, dan gaya hidup orang-orang dalam satu kurun waktu tertentu (Wijaya, 2010).

Dorongan pemerintah untuk mengembangkan potensi daerah ini perlu diikuti dengan pengembangan motif ragam hias daerahnya, sehingga kekayaan lokal Malangan juga turut terangkat. Pengembangan motif diselaraskan dengan adanya pengolahan lanjut berupa rancangan produk tekstil dengan ikon Malang bunga untuk menciptakan produk tekstil baru. Dengan dukungan dari pihak pemerintah, produk tekstil dapat meningkatkan sektor industri kreatif daerah Malang sehingga memiliki nilai yang lebih tinggi.

METODE

Penelitian yang berjudul Pengembangan Motif Batik Bunga Teratai Malangan pada Rancangan Produk tekstil ini bertujuan untuk menghasilkan pengembangan motif batik bunga teratai baru untuk ragam hias Malangan dan pengaplikasiannya pada rancangan produk tekstil. Adapun metode penelitian yang digunakan adalah pengumpulan data kualitatif dengan cara wawancara, observasi. Pada teknik perancangan digunakan metode eksploratif. Oleh karena itu, dapat dijabarkan metode dan teknik ini terdiri dari:

1. Pengumpulan data literatur dan observasi mengenai motif bunga teratai Malang
2. Wawancara mendalam kepada pemilik dan pengrajin Batik Organik Buring Malang dan Batik Blimbing Malang
3. Eksplorasi adaptasi visual ragam hias Bunga Teratai Malangan
4. Perancangan konsep desain
5. Perancangan komposisi ragam hias dan tekstil

Proses Penelitian

Kota Malang serta berubahnya status Malang menjadi Kotapraja pada tanggal 1 April 1914 turut serta mengubah kondisi kebudayaan Malang.⁴ Kebudayaan dan kesenian ini juga merefleksikan sikap keterbukaan, egalitarian, dan solidaritas yang tinggi pada masyarakatnya. Etnik Masyarakat Malang terkenal religius, dinamis, suka bekerja keras, lugas, dan bangga dengan identitasnya sebagai Arek Malang (AREMA).⁴ Perkembangan daerah Malang saat ini membuah hasil sebagai penerima Natamukti Pranata karena dianggap telah berhasil mendorong keberlangsungan Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM).³ Salah satu potensi kearifan lokal ialah sebutan Malang sebagai Kota Bunga yang memiliki cita-cita untuk merebak di hati setiap warga kota serta senantiasa menyemarakkan sudut kota dengan warna-warni bunga.⁴

Kekayaan etnis dan budaya secara global yang dimiliki daerah Malang, Jawa Timur berpengaruh terhadap kesenian tradisional masyarakatnya. Kesenian adalah suatu kompleks dari ide-ide, gagasan, nilai-nilai, norma-norma, dan peraturan dimana kompleks aktivitas dan tindakan berpola dari manusia dalam masyarakat dan biasanya berwujud benda-benda hasil manusia.¹¹ Salah satunya ialah Batik, batik khas Malang biasa disebut Batik Malangan karena semua inspirasi motifnya adalah semua yang ada di Malang.⁶ Kesenian dan kerajinan Batik Malang berawal dari kebutuhan untuk memenuhi keseharian masyarakatnya,

hingga dijadikan saat ini banyak dijadikan suatu komunitas untuk bekerja dan menambah penghasilan. Gambar 2 dan 3 berikut menunjukkan beberapa contoh batik yang menjadi ikon Kota Malang.



Gambar 1. Kota Malang (Audianty, 2020)



Gambar 2. Batik Motif Tugu Malang (Audianty, 2020)



Gambar 3. Batik Motif Bunga Teratai (Audianty, 2020)

Bentuk kesenian Malang yang masih dijalani hingga saat ini, tidak hanya sebagai pekerjaan sehari-hari namun terdapat tujuan untuk melestarikan budaya daerah yang dimilikinya. Seiring berkembangnya seni rupa, banyaknya seniman perupa di Kota Malang yang turut andil dalam menghasilkan karya senirupa tersebut dengan mengambil inspirasi dari potensi daerah Kota Malang. Salah satunya adalah potensi bunga teratai sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4. Teratai (*Nymphaea*) adalah nama *genus* untuk tanaman air dari suku *Nymphaeaceae* (Orban dan Bouharmont, 1998 cit. Bodhipadma et al., 2011).¹² Di Indonesia, teratai juga digunakan untuk menyebut tanaman dari *genus Nelumbo* (lotus). Pada zaman dulu, sering disamakan antara tanaman *genus Nelumbo* seperti seroja dengan *genus Nymphaea* (teratai). *Nelumbo nucifera* dikenal dengan berbagai nama, di antaranya seperti *Indian Lotus*, *Sacred Lotus*, *Bean of India*, atau lebih mudah disebut sebagai seroja. Seroja adalah tumbuhan yang dikategorikan sebagai *famili Nelumbonaceae*.¹³



Gambar 2. Bunga Teratai Malang (Audianty, 2020)

Bunga teratai ini melambangkan suatu keindahan alam yang penuh kesuburan. Kaitan Bunga teratai yang menjadi ikon Malang ini juga berkaitan erat dengan adanya candi Singasari.⁶ Menurut kisah cerita Hindu era kerajaan Singasari yang menjadi cikal bakal budaya di Malang, bunga teratai merupakan salah satu jenis bunga Dewa Wisnu sebagai dewa pemelihara alam.⁶ Relief teratai di samping arca Resi Agastya yang berada di Candi Singasari ini merupakan ornamen teratai yang ditampilkan lengkap secara keseluruhan. Teratai merupakan simbol tanaman surgawi yang memenuhi Panca Maha Bhuta, yaitu lima unsur atau elemen kehidupan yang dianggap menyimpan kekuatan yang terdiri dari tanah, air, api, angin, dan ethe.¹⁴

Proses Kreatif

Proses studi kreatif didasarkan pada hasil observasi lapangan bunga teratai Malang. Kondisi yang mendukung pengembangan motif bunga teratai serta bagaimana pengaruhnya untuk eksploratif bentuk tersebut (Gambar 5).

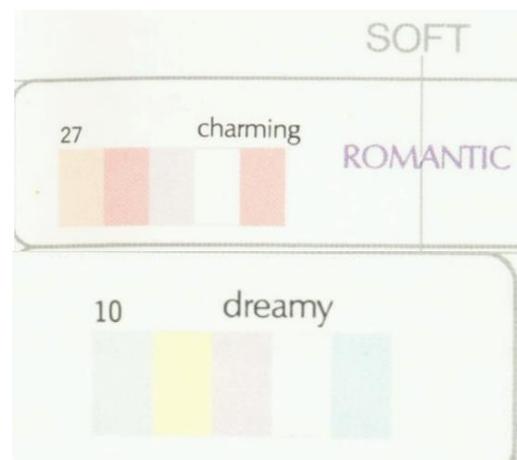


Gambar 3. Bunga Teratai Malang Siang dan Malam Hari (Audianty, 2020)

Hasil observasi pada bunga teratai ini menghasilkan proses kreatif dalam pembuatan *moodboard*. Kesatuan menjadi salah satu prinsip desain penting dalam pembentukan ide rancangan karya yang didapatkan dari budaya dan kesenian batik Malang. Kesatuan ini menjadi point utama sebagai bentuk keselarasan dari unsur-unsur pengembangan adaptasi visual motif bunga teratai.



Gambar 6. Moodboard Pagi (Audianty, 2020)



Gambar 7. Romantic (Kobayashi, 1990:11)

Konsep karya terinspirasi dari keadaan pagi hari dengan seluruh aktivitas, bentuk, kegiatan, dan suasana di kota Malang. Konsep karya ini dapat mengambil sisi kearifan lokal dari segi warna, bentuk, dan *moment* Kota Malang saat observasi sehingga menentukan rancangan sketsa produk yang akan diciptakan. *Mood* ini ingin menimbulkan kesan feminin, anggun, dan dewasa (Gambar 6). Warna yang digunakan meliputi warna pink kecoklatan, krem, dan pink muda untuk menunjukan sisi *romantic* wanita. *Romantic*, memiliki kombinasi warna bersifat lembut dan tenang¹⁵ sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7. Warna *romantic* ini dapat mewakili Malang pada pagi-siang hari serta target market untuk mendapatkan *mood* yang tenang dan dewasa.

Konsep perancangan karya kedua ini terinspirasi dari keadaan malam hari dengan suasana, gemerlap, dan cahaya di kota Malang yang didapatkan dari warna, bentuk, dan *moment* yang berbeda atas respon

lingkungan terhadap bunga teratai itu sendiri (Gambar 8). Bunga-bunga terlihat lebih banyak bermekaran dengan warna pink yang menyala di antara gelapnya hari. *Mood* untuk mendapatkan kesan kuat, elegan, dan dari wanita dewasa. Warna yang digunakan meliputi warna pink salmon, biru, abu-abu, dan dongker untuk menjukan sisi *gorgeus*. *Gorgeus* memiliki kombinasi warna yang kuat dan menarik yang menarik perhatian¹⁵ sebagaimana terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Moodboard Malam (Audianty, 2020)



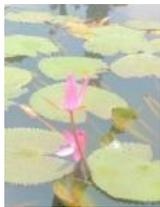
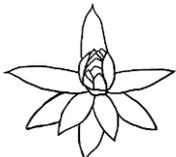
Gambar 9. Gorgeus (Kobayashi, 1990:11)

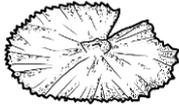
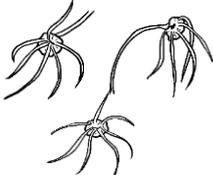
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinjauan Adaptasi Pengembangan Visual

Pada proses eksplorasi pertama, yaitu proses stilasi bertujuan untuk memaksimalkan pengembangan motif bunga batik teratai Malangan, serta menggali potensi batik untuk mendapatkan keterbaruan. Bunga Teratai Malangan yang dikembangkan dari observasi lingkungan sekitarnya yang bersifat inovatif, estetis, dan tetap memiliki akar tradisi dan identitas budaya. Sumber inspirasi pengembangan motif hias dapat ditemukan dari tinjauan lanjut mengenai objek yang diteliti. Hal tersebut didapatkan dari adaptasi visual dimulai dari unsur terkecil hingga objek yang ada di sekelilingnya (Tabel 1).

Tabel 1. Tinjauan Adaptasi Visual (Audianty, 2020)

No	Objek Awal	Eksplorasi Motif	Eksplorasi Motif Lanjutan
1			
2			

No	Objek Awal	Eksplorasi Motif	Eksplorasi Motif Lanjutan
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

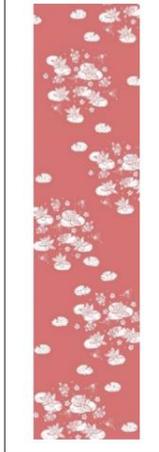
No	Objek Awal	Eksplorasi Motif	Eksplorasi Motif Lanjutan
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

Sketsa Rancangan Produk Tekstil

Rancangan karya ini mempertimbangkan hasil adaptasi visual, bentuk, dan komposisi dari bunga teratai Malang selama observasi serta pertimbangannya dengan *moodboard*. Hal ini untuk menunjukkan bahwa pengembangan motif batik malangan ini dapat menggunakan unsur-unsur yang ada di lingkungan sekitar Kota Malang. Rancangan komposisi kain yang dibuat didasarkan pada kearifan lokal daerah Malang yang menekankan pada sisi dinamis, suka bekerja keras, lugas, dan bangga dengan identitasnya sebagai Arek

Malang. Hal ini dapat dilihat dari penyusunan motif yang asimetris, membentuk suatu penekanan dengan bentuk visual yang fokus pada objek utama sehingga kesan kerja keras dan tekun muncul sesuai target yang dituju, yaitu objek bunga teratai yang menjadi *highlight* utama, serta alur komposisi dinamis yang mengartikan masyarakat Malang dapat mengikuti perkembangan jaman (Tabel 2).

Tabel 2. Komposisi Kain Hitam Putih dan Warna (Audianty, 2020)

No	Inspirasi	Komposisi Hitam Putih 1	Komposisi Hitam Putih 2	Alternatif Warna 1	Alternatif Warna 2	Alternatif Warna 3
1.						
2.						
3.						

Pengembangan Motif

Dari benang merah kearifan lokal daerah Malang, potensi, keadaan sosial masyarakat, tersebut terciptalah adaptasi visual dan desain komposisi kain yang mempertimbangkan keselarasan antara kode kearifan Kota Malang, yaitu dinamis, suka bekerja keras, lugas, dan bangga dengan identitasnya dengan kode visual berdasarkan teori unsur dan prinsip desain untuk terciptanya sebuah pengembangan motif baru hingga menjadi produk tekstil (Gambar 10).



Gambar 4. Benang Merah Pengembangan (Audianty, 2020)

Rancangan komposisi kain yang dibuat memiliki nilai-nilai keterbaruan yang dari kain batik sebelumnya. Hal ini didasarkan dari adaptasi visual, eksplorasi warna, dan eksplorasi teknik yang ada. Nilai keterbaruan tersebut antara lain dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengembangan Motif Batik Saat Ini (Audianty, 2020)

Kain Batik Malang Dulu	Keterangan	Keterangan	Pengembangan Motif Batik
	Halus	Bold	
	Detail	Sederhana	
	Warna Terang	Warna Soft	
	Garis Tipis	Garis Tebal	
	Motif Kecil	Motif Besar	
	Warna dalam 1 Tone	Pencampuran Beberapa Warna	

Dengan rancangan desain dan produk tekstil yang diciptakan dapat disimpulkan bahwa komposisi dan pemilihan warna desain selendang digambarkan sebagai kode visual ini disesuaikan dengan kearifan lokal Kota Malang, yaitu dinamis, suka bekerja keras, lugas, dan bangga dengan identitasnya sebagai Arek Malang. Representasi tersebut digambarkan dengan komposisi yang mengalir dan berjarak, sebagai bentuk dinamis gambar yang besar dan fokus untuk menunjukkan kebanggaan identitas serta warna dan garis yang tegas (Tabel 4).

Tabel 4. Kode Kearifan Malang dan Visual (Audianty, 2020)

Kearifan Lokal Malang	Kode Visual	Keterangan
Balai Pemerintah Malang 	Selendang Pagi Kirana 	Dinamis. Digambarkan dengan bergerak, mengikuti perubahan, dan mengalir mengikuti perkembangan jaman. Komposisi dibuat asimetris.

Kearifan Lokal Malang	Kode Visual	Keterangan
<p>Ikon Kota Bunga</p> 	<p>Selendang Pagi, Annora</p> 	<p>Bangga dengan identitasnya. Digambarkan dengan bunga teratai yang menjadi focus dari ikon Kota Malang. Dengan motif yang berukuran besar besar dan latar mendukung disekitarnya.</p>
<p>Aktivitas Masyarakat</p> 	<p>Selendang Malam Arula</p> 	<p>Lugas. Digambarkan dengan memasukan unsur-unsur yang perlu dan dapat merepresentasikan dengan jelas apa yang ingin dikatakan. Memiliki kesatuan yang tegas dan kokoh.</p>
<p>Membatik</p> 	<p>Selendang Malam,Lavana</p> 	<p>Suka Bekerja Keras. Direpresentasikan dengan motif yang rumit dan mendetail. Komposisi yang menumpuk dengan proporsi yang semakin mengerucut dan ditandai menegthahui target yang ingin dituju.</p>
<p>Tugu Malang</p> 	<p>Selendang Malam</p> 	<p>Tegas Digambarkan dengan bentuk yang tegas dan mandiri. Didukung dengan garis yang kuat, dengan Warna yang digunakan yaitu warna biru, putih, dan abu-abu</p>

KESIMPULAN

Setelah melakukan proses pengembangan motif bunga Teratai dan penerapannya pada rancangan produk tekstil, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa proses pengembangan motif batik bunga teratai sebagai ragam hias daerah Malangan dilakukan melalui beberapa tahap:

1. Tahap pertama diawali dengan pemahaman objek bunga teratai dan kota Malang
2. Observasi langsung mengenai objek bunga teratai yang ada sekitar Malang
3. Sketsa adaptasi visual bunga teratai dengan teknik stilasi dan pengembangan dari hasil objek tersebut

4. Pengembangan objek bunga teratai tersebut dilakukan eksplorasi rancangan komposisi bunga teratai dan penentuan warna yang terinspirasi dari sekitar daerah Malang.
5. Pengembangan motif ini mempertimbangan kode visual kearifan Kota Malang untuk menghasilkan pengembangan kode visual baru.

Proses pengembangan motif bunga teratai ini dapat membantu variasi dalam desain Motif Batik Khas Malang untuk mengembangkan potensi daerah sesuai Dinas Koperasi dan Usaha Mikro Kota Malang, 2018. Sebuah pengembangan desain dan ragam hias dapat diperoleh dengan mempelajari dan mengamati kondisi dan kekayaan daerah setempat serta memanfaatkan potensi masyarakat daerah untuk meningkatkan kearifan lokal daerahnya sendiri. Diolah sedemikian rupa agar dapat menghasilkan produk tekstil yang bervariasi sehingga dapat membantu mengangkat nilai kebudayaan dan kearifan lokal daerah yang sarat akan nilai budaya, juga mampu untuk bersaing dalam arus yang kian berkembang ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Apriyanto, 2008. Hubungan Kearifan Lokal Masyarakat Adat dengan Pelestarian Lingkungan Hidup. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung
2. Geertz, C. 1973. The impact of the concept of culture on the concept of man. Dalam: The interpretation of cultures: Selected Essays. New York: Basic Books. 126-141.
3. Bidang Informasi Publik. 8 September 2019. Sukses Tingkatkan Sektor UMKM, Kota Malang Terima Penghargaan Natamukti. <https://malangkota.go.id/2019/>. (Diakses: 10 Desember 2019).
4. Pemerintah Kota Malang. 2020. Sejarah Malang. <https://malangkota.go.id/sekilas-malang/sejarah-malang/>. (Diakses: 19 November 2019)
5. Het Zilveren Jubileum der Stadsgemeente Malang (1939)
6. Hermawati, Adya dkk. 2017. Strategi Bersaing: Batik Malangan Konvensional melalui Diversifikasi Produk Batik Kombinasi pada UKM Kelurahan Merjosari Malang. Jurnal Ilmiah Bisnis dan Ekonomi Asia.
7. Anas, Biranul. 1995. Batik Indonesia Indah 08. Jakarta: Yayasan Harapan Kita & BP3 TMII.
8. Tribunnews. 2009. Batik Malangan, Banyak Dicari, Kurang Diproduksi. <https://surabaya.tribunnews.com/2009/10/02/batik-malangan-banyak-dicari-kurang-diproduksi> (Diakses: 19 November 2019)
9. Dinas Koperasi dan Usaha Mikro Kota Malang. 2018. Lomba Desain Motif Batik Khas Malang 2018 (Revisi). <https://dinkop.malangkota.go.id/>. (Diakses: 19 November 2019).
10. Laksono, D. 2005. Nilai Estetika Seni Batik Tulis Klasik Jateng. Skripsi, Yogyakarta: Fakultas Filsafat Universitas Gadjah Mada.
11. Koentjaraningrat. 1990. Pengantar Ilmu Antropologi. Jakarta: Aksara Baru
12. Bodhipadma, P., Noichinda, S., Wachirabongkath, P., Pukpoomin, E., Punnakantan, L. & Nathalang, K. (2011). *Nymphaea nouchali* var *versicolor* 'Bua Phuean': Seed Morphology and Germination in Vitro. *Environment and Resources J.* 9(2): 19-25.
13. Ismail, A., Mastor, A. F., Zin, A. A. M., Sulaiman, S. Z. S., Ikkal, N. H. M. 2012. Nelumbonucifera (BUNGA SEROJA). University Kebangsaan Malaysia. Malaysia. (Diakses: 19 November 2019)
14. Mulyadi, dkk. 2015. Relief dan Arca Candi Singosari – Jawa. CV. Dream Litera Buana
15. Kobayashi, Shigenobu. 1925. Book of colors / compiled.

EKSPLORASI PENGOLAHAN SERAT ALAM DAUN NANAS VARIETAS *SMOOTH CAYENNE* DENGAN TEKNIK *PULPING* DAN *PAPER MAKING*

EXPLORATION OF NATURAL FIBER PROCESSING OF SMOOTH CAYENNE VARIETY PINEAPPLE LEAVES WITH PULPING AND PAPER MAKING TECHNIQUES

Asyifa Rachmadina Jiniputri, Sabrina Ilma Sakina, Alvinska Oktaviana

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung 40132 Indonesia, 022-2501214

E-mail: asyifarjp@gmail.com

ABSTRAK

Material serat alam telah dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan tekstil *non-woven* dengan metode tertentu untuk menciptakan material yang *biodegradable* sehingga ramah terhadap lingkungan. Daun nanas (*Ananas comosus*) memiliki kandungan serat yang memiliki kualifikasi yang dapat dijadikan alternatif material untuk tekstil. Tanaman nanas tumbuh di daerah dataran rendah dengan ketinggian 100-200 m di atas permukaan laut, sehingga banyak ditemukan di Indonesia yang merupakan negara kepulauan. Tanaman nanas yang digunakan berasal dari Kabupaten Subang (varietas *Smooth Cayenne*) dan memiliki struktur serat yang lembut. Metode yang digunakan untuk mengolah serat Daun nanas ini adalah dengan teknik *scouring* untuk membersihkan serat dari kotoran dan zat-zat yang dapat mengganggu proses pengolahan, seperti lemak, gabus, dan klorofil. Kemudian serat diolah dengan teknik *paper making* yang diawali dengan melumatkan serat dengan substansi lain seperti air, *Teepol* (10%), sodium karbonat (20 - 50 %) dan natrium hidroksida (100%) sehingga berbentuk *pulp*. *Pulp* kemudian dicetak hingga membentuk lembaran dan dikeringkan hingga menjadi kertas. Teknik ini dapat dilakukan oleh masyarakat sekitar daerah budidaya tanaman nanas, sehingga masyarakat dapat lebih berdaya dalam mengolah dan memanfaatkan kekayaan alam di sekitarnya.

Kata kunci: daun nanas, *biodegradable*, *paper making*, *pulp*, serat alam

ABSTRACT

Natural fiber materials have been used as raw material for making non-woven textiles by certain methods to create biodegradable materials that are friendly to the environment. Pineapple leaves (Ananas comosus) contain qualified fibers that can be used as an alternative material for textiles. Pineapple plants grow in lowland areas with an altitude of 100-200 m above sea level, so that they are found in Indonesia, which is an archipelago. The pineapple used comes from Subang District (Smooth Cayenne varieties) and has a soft fiber structure. The method used to process the pineapple leaves fiber is the scouring technique to clean the fiber from dirt and substances that can interfere the process, such as fat, cork, and chlorophyll. Then the fiber is processed using a paper making technique, which begins by pulverizing the fiber with other substances such as water, Teepol (10%), sodium carbonate (20 - 50%) and natrium hydroxide (100%) to form pulp. The pulp is then printed to form sheets and dried to form paper. This technique can be done by people around the pineapple cultivation area, so that people can be more empowered in processing and utilizing the natural resources around them.

Keywords: *biodegradable, natural fiber, paper making, pulp, pineapple leaves.*

PENDAHULUAN

Serat alami telah menjadi alternatif material untuk dimanfaatkan pada dunia industri karena memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan material sintesis seperti ramah terhadap lingkungan karena sifatnya yang *biodegradable*, kebaruannya terjamin, dan termasuk pada material dengan biaya rendah.¹ Material serat alami memiliki keunggulan untuk dimanfaatkan karena kepadatannya yang rendah, memiliki tingkat kekakuan yang tepat dan memiliki sifat mekanik, serta daya tahan dan pembaruan yang tinggi.² Material alternatif serat alam non-kayu telah mendapat perhatian lebih beberapa tahun terakhir untuk dijadikan bahan baku *pulp*. Sumber utama material non-kayu yang merupakan sisa pertanian dari tumbuhan monokotil, seperti jerami, ampas tebu, bambu, alang-alang, dan beberapa tanaman rumput seperti rami, kenaf, sisal atau abaka yang dikumpulkan untuk diambil bagian seratnya di dalam batang untuk dibuat *pulp*.³

Beberapa daerah di Indonesia terkenal dengan budidaya tumbuhan nanas seperti di daerah Sumatra dan Jawa. Di Pulau Jawa, tepatnya di Kabupaten Subang, terdapat budidaya tanaman nanas dengan nama varietas komersial *Smooth Cayenne*. Selain dijadikan sebagai konsumsi, tumbuhan nanas dapat dimanfaatkan sebagai

material alternatif serat alami. Serat alami ini didapatkan dari bagian daun. Jika dibandingkan dengan tanaman di daerah Sumatra dengan nama varietas komersial *Queen*, varietas ini memiliki karakter struktur serat dalam daun yang lebih lembut. Ukuran panjang daun nanas *Smooth Cayenne* tergantung dari tua atau mudanya daun. Daun yang sudah tua dapat menghasilkan serat dengan panjang sekitar 80 – 100 cm dan daun nanas yang masih muda dapat menghasilkan serat sepanjang 50 – 70 cm⁴ (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Tanaman Nanas

Daun nanas merupakan salah satu alternatif material alam yang mengandung serat dan memiliki potensi untuk dijadikan bahan baku *pulp*. Residu serat nanas dapat menjadi alternatif sumber bahan mentah yang menarik untuk aplikasi industri, terutama untuk produksi material komposit dan kertas khusus, bahan baku kimia (enzim bromelin), dan kain.⁵ Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Gisela Marquez, yang dilakukan pada serat daun Curaua, yaitu varietas tanaman nanas yang berasal dari Amazon, serat daun tanaman nanas ini memiliki ciri kandungan holoselulosa dan R-selulosa yang tinggi dan kandungan lignin rendah, yang akan membuat serat ini cocok untuk pembuatan kertas.³ Meskipun varietas tanaman yang dikaji berbeda, persamaan spesies antara dua varietas tanaman ini memberikan peluang bagi varietas *Smooth Cayenne* untuk bisa dijadikan material utama pembuatan kertas.

METODE

Penelitian dilakukan dengan metode eksplorasi, yaitu eksplorasi *pulp* dan paper making menggunakan bahan dasar serat daun nanas varietas *Smooth cayenne*. Serat daun nanas didapatkan dari budidaya tanaman nanas di Kabupaten Subang, Jawa Barat. Serat yang didapatkan telah bersih dari daging daun, sehingga proses pengolahan dimulai dengan proses *scouring*, yaitu proses pembersihan serat dari kotoran maupun zat bawaan pada serat yang dapat menghambat proses. Proses *scouring* juga dapat membantu melembutkan serat. Proses *scouring* adalah proses perebusan serat dengan bantuan zat kimia yaitu *soda ash* (Na_2CO_3) sebanyak 10% dan *teepol* 10% dari berat serat, direbus dengan interval waktu 30 menit. Serat yang telah *discouring* kemudian dipotong-potong dengan gunting dengan panjang sekitar 10 cm agar memudahkan proses pelumatan. Setelah digunting serat dilakukan perebusan dengan dua zat kimia, yaitu *soda ash* dan soda api. Pada perebusan pertama, serat seberat 250 gr direbus dengan volume air hingga serat terendam secara keseluruhan, dan *soda ash* sebanyak 20%. Perebusan dibagi menjadi dua interval waktu, yaitu 1 jam dan 2 jam. Pada perebusan kedua, jumlah *soda ash* ditambahkan menjadi 50% berat serat dengan interval waktu perebusan 2 jam. Percobaan ketiga, serat sebanyak 500 gr direbus dengan soda api (NaOH) dengan perbandingan 1:1 dengan serat, yaitu 500 gr, dengan interval waktu 3 jam. Serat yang telah direbus menggunakan *soda ash* dan soda api kemudian dilumatkan menggunakan alat blender, dengan dicampur air hingga serat berbentuk *pulp*. Serat yang sudah lumat disimpan dalam sebuah bak, dan dicampurkan dengan air dengan perbandingan 1:3 (serat : air). Serat yang direndam dalam air tersebut kemudian dicetak dengan cara memasukkan *screen* sablon polos ke dalam bak, kemudian angkat *screen* sehingga serat dari bak menempel pada permukaan *screen* (lihat Gambar 2).



Gambar 2 . Proses penyaringan serat dengan *screen*



Gambar 3 . Proses pencetakan serat pada papan kayu

Kemudian *screen* dan serat yang telah menempel pada *screen* dijemur di udara terbuka hingga kering. Untuk variasi ketebalan dan tekstur dapat digunakan papan kayu atau triplek, kemudian serat pada permukaan *screen* ditransfer ke papan kayu dan diratakan menggunakan raket (lihat Gambar 3). Selanjutnya serat yang menempel pada papan kayu dijemur di udara terbuka (lihat Gambar 4).



Gambar 4 . Proses penjemuran serat menjadi kertas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen pada Serat Daun Nanas

Komponen utama pada serat alam yang berasal dari tumbuhan biasanya mencakup selulosa, hemiselulosa, pektin, dan lignin dengan kadar yang berbeda-beda pada setiap tumbuhan. Selulosa adalah bagian dari tumbuhan yang bertanggung jawab atas sifat hidroliflik dari serat tumbuhan serta bersifat kristalin. Hemiselulosa bertindak sebagai matriks penyemenan antara fibril mikro selulosa yang membentuk jaringan selulosa/hemiselulosa. Lignin merupakan bagian yang bersifat hidrofobik dan juga bertindak sebagai agen penyemen untuk meningkatkan kekakuan serat. Lignin dapat larut dalam alkali panas, mudah teroksidasi, dan mudah terkondensasi dengan fenol.⁶ Komposisi zat kimia dalam serat nanas adalah 80 % selulosa dan 12,8 % lignin, serta tidak mengandung hemiselulosa.

Pelumatan dengan Bantuan soda *ash* dan soda api

Dalam proses pelumatan serat, perlu dibantu menggunakan zat kimiawi yang dapat membantu proses eksplorasi menjadi efektif dan efisien. Zat kimiawi yang digunakan adalah soda api dan soda *ash*. Soda *ash* mempengaruhi pewarnaan pada serat katun kation pada suhu 37°C, dimana pewarna habis secara menyeluruh dalam waktu 10 menit dan kondisi serat menjadi rusak.⁷ Pada percobaan mengenai pengaruh soda api pada selulosa serat katun yang telah dilakukan oleh Ermen dan Jenkins, serat katun mengalami reaksi terhadap soda api pada suhu panas.⁸ Berdasarkan penelitian tersebut, membuka peluang yang sama pada kandungan selulosa pada serat daun nanas akan bereaksi bila diberi soda *ash* dan/atau soda api pada suhu panas, yaitu dengan metode perebusan. Kedua zat kimia ini memiliki pH level yang tinggi. pH level soda *ash* berada di sekitar 10,9 – 11,6, soda api memiliki pH level yang lebih tinggi, yaitu sekitar 13 – 14. Artinya kedua zat kimia ini merupakan zat dengan tingkat basa yang tinggi, atau bersifat alkali.

Perbedaan metode percobaan yang dilakukan menghasilkan karakter *pulp* yang berbeda pula. Pada percobaan yang menggunakan soda *ash* 20 % dengan interval waktu 1 dan 2 jam, serat masih kasar, sehingga tidak dapat dilanjutkan pada proses pelumatan menggunakan blender. Serat dapat bereaksi menjadi lebih lembut saat dilakukan percobaan dengan menggunakan takaran soda *ash* sebanyak 50 % berat serat dengan interval waktu 2 jam. Serat yang dihasilkan cukup lembut dan dapat dilanjutkan ke tahap pelumatan menggunakan blender. *Pulp* yang dihasilkan dapat dicetak menggunakan *screen*. Kertas yang dihasilkan bertekstur kasar dan kertas terasa keras. Meskipun begitu, ketebalan kertas dapat diatur saat penyaringan serat dari bak. Bila serat yang tersaring sedikit, maka kertas yang dihasilkan menjadi tipis.

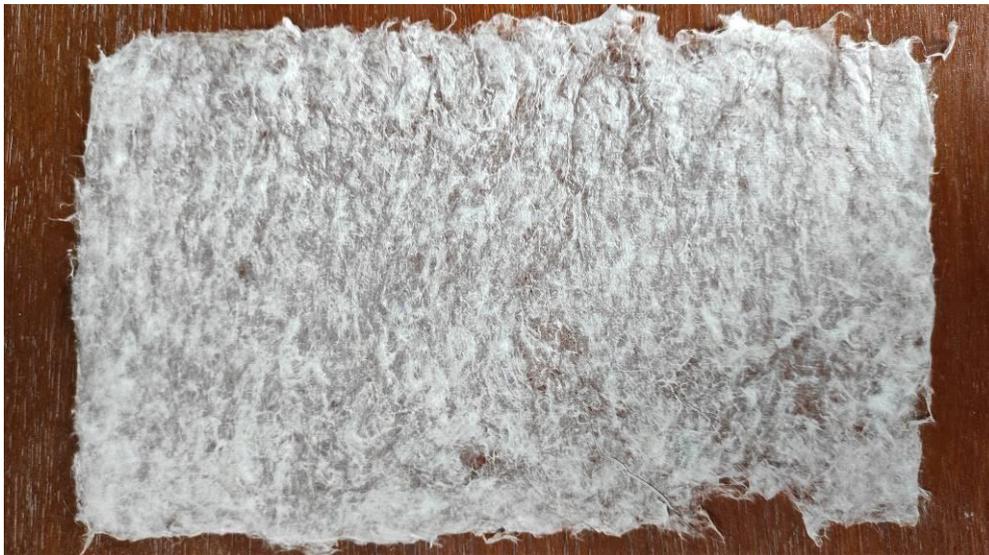
Tekstur kertas dapat diatur sesuai dengan permukaan papan yang dijadikan alas cetakan. Dengan mengatur tekstur papan alas cetakan, dapat mempengaruhi tekstur kertas. Hal ini dapat menjadi potensi dibuatnya berbagai motif dan tekstur yang dikehendaki pada permukaan kertas. Pada percobaan ketiga, digunakan material soda api dalam membantu melembutkan serat dengan cara perebusan. Interval waktu perebusan adalah 3 jam. Serat yang dihasilkan melalui proses menjadi sangat lembut dan halus, dan hampir berbentuk *pulp*. Serat yang telah direbus dengan soda *ash* dan soda api, akan mengeluarkan lendir jika didiamkan selama 2 – 3 hari. Kemudian serat dilumatkan dengan blender hingga *pulp* serat menjadi sangat

lembut. Serat yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam bak berisi air dan serat direndam. Serat kemudian disaring menggunakan *screen* dan dicetak di atas papan kayu, selanjutnya dijemur di udara terbuka.

Serat yang telah kering dijemur menjadi kertas. Secara keseluruhan, kertas memiliki tekstur yang kasar pada permukaannya sesuai dengan serat yang dibuat *pulp* dengan tingkat kehalusan yang berbeda. Kertas yang dihasilkan pun tidak mudah robek jika dibandingkan dengan kertas HVS. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh R. M. N. Arib, properti mekanis pada serat daun nanas dapat membantu mengembangkan kekuatan komposit yang bermanfaat untuk matriks polipropilen.⁹ Faktor ini juga yang menjadikan kertas yang dibuat dengan material serat daun nanas ini kuat dan tidak mudah robek meskipun kertas dibuat tipis.

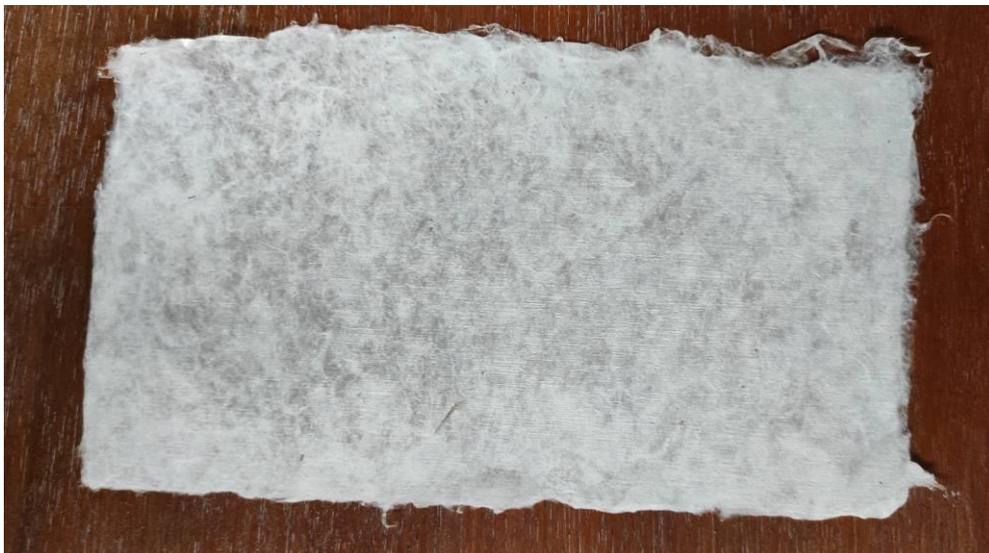
Hasil Kertas Secara Visual

Pada Gambar 5 dan 6, kertas merupakan hasil pengolahan serat daun nanas menjadi *pulp* menggunakan soda api dengan perbandingan jumlah 1:1 dengan berat serat dengan interval waktu 3 jam. Pencetakan *pulp* dibuat dengan ketebalan yang berbeda, yaitu tipis dan tebal. Pada kertas yang tipis (Gambar 5), secara visual, kertas yang dihasilkan menunjukkan barik berupa kumpulan serat yang rapat dan renggang sehingga terlihat transparan namun tidak rata. Bila diraba menggunakan indera peraba, kertas terasa lembut. Kertas ini rentan rusak bila terkena air.



Gambar 5. Kertas serat daun nanas yang dilumatkan dengan soda api (tipis)

Pada kertas yang dibuat lebih tebal (lihat Gambar 6), intensitas warna serat lebih rata dibanding kertas yang tipis. Meskipun begitu, masih ada bagian-bagian yang transparan. Permukaan kertas bertekstur namun terasa lembut. Kertas dengan tingkat ketebalan yang lebih dari Gambar 5 pun tidak mudah dirobek.

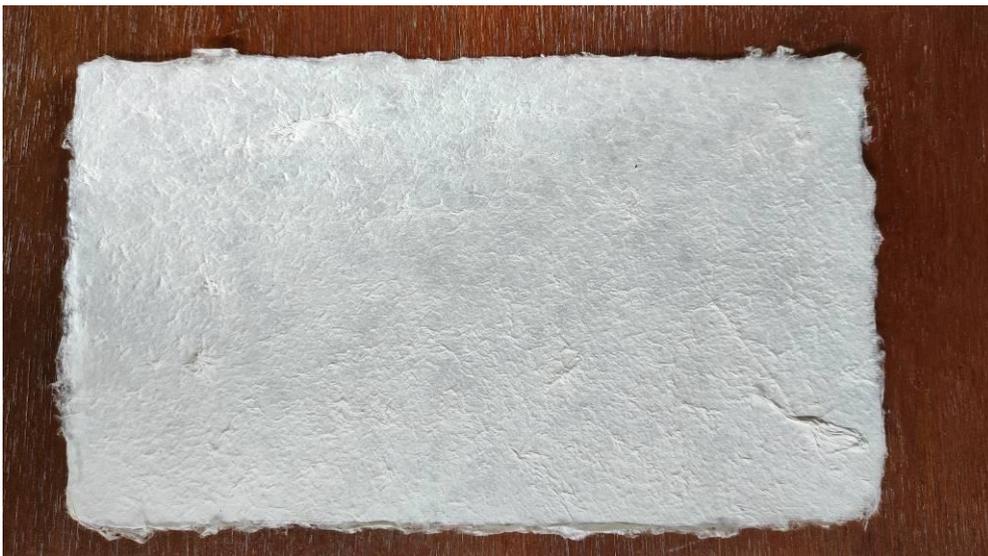


Gambar 6. Kertas serat daun nanas yang dilumatkan dengan soda api (tebal)

Kertas yang dibuat dengan bantuan soda *ash* (Na_2CO_3) sebanyak 50% berat serat dengan interval waktu perebusan selama 2 jam, dicetak dengan ketebalan yang berbeda. Pada kertas yang tipis (lihat Gambar 7), permukaan kertas kasar dan bertekstur, serta terdapat barik warna kertas yang kurang merata karena persebaran serat yang tidak merata pula. Hal ini membuat kertas menjadi transparan pada bagian dengan intensitas serat yang sedikit.



Gambar 7. Kertas serat daun nanas yang dilumatkan dengan soda *ash* (tipis)



Gambar 8. Kertas serat daun nanas yang dilumatkan dengan Soda *Ash* (tebal)

Kertas yang dilumatkan menggunakan soda *ash* dan dicetak tebal menunjukkan karakter permukaan kertas yang sangat bertekstur dan kertas lebih kaku dari kertas hasil percobaan lainnya yang lebih tipis (lihat Gambar 8). Intensitas serat lebih merata dan barik warna kertas pun lebih merata serta tidak transparan. Kertas ini tidak mudah robek dan menyerap air lebih lama dibandingkan kertas lainnya.

KESIMPULAN

Serat daun nanas *Smooth Cayenne* dapat diolah menggunakan teknik *pulping* dan *paper making*. Pengolahan ini membutuhkan bantuan zat kimiawi yaitu Soda *Ash* (Na_2CO_3) dan soda api (NaOH) untuk melumatkan serat menjadi *pulp* dengan metode perebusan. Kertas yang dihasilkan memiliki karakter kasar dan bertekstur pada permukaannya. Karakter permukaan kertas dapat disesuaikan dengan mengatur kelembutan *pulp* serat, serta alas papan yang digunakan untuk mecetak *pulp* menjadi kertas. Kertas yang dihasilkan tidak mudah robek meskipun memiliki ketebalan yang berbeda. Pada kertas yang dicetak dengan tebal, air tidak mudah menyerap. Faktor yang mempengaruhi kondisi pulp antara lain jenis zat kimia yang digunakan harus

bersifat alkali tinggi, kadar zat kimi serta interval waktu perebusan. Penelitian ini membuka peluang untuk dilakukan dan penembangan terutama berkenaan dengan uji kekuatan kertas serat daun nanas yang telah dibuat di lab uji. Serat yang dibuat kertas pada penelitian ini tidak menggunakan matriks penyemenan, pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan eksplorasi dengan menggunakan material yang bersifat merekatkan serat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Madsen, B. & Gamstedt, E. K. Wood versus plant fibers: Similarities and differences in composite applications. *Adv. Mater. Sci. Eng.* **2013**, (2013).
 2. Khan, M. Z. H., Sarkar, M. A. R., Al Imam, F. I., Khan, M. Z. H. & Malinen, R. O. Paper Making from Banana Pseudo-Stem: Characterization and Comparison. *J. Nat. Fibers* **11**, 199–211 (2014).
 3. Marques, G., Gutiérrez, A. & Del Río, J. C. Chemical characterization of lignin and lipophilic fractions from leaf fibers of curaua (*Ananas erectifolius*). *J. Agric. Food Chem.* **55**, 1327–1336 (2007).
 4. Zhuang, Z. K., Li, M. F., He, J. Y. & Zhang, J. Study on fiber fineness of smooth cayenne pineapple leaf. *Adv. Mater. Res.* **864–867**, 390–393 (2014).
 5. Leao, A. L. *et al.* Pineapple leaf fibers for composites and cellulose. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **522**, 36/[336]-41/[341] (2010).
 6. Ali, A. *et al.* Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites—A review. *J. Ind. Text.* **47**, 2153–2183 (2018).
 7. Fu, S. *et al.* Real-time dyebath monitoring of reactive dyeing on cationized cotton for levelness control: part 1—influence of dye structure, temperature, and addition of soda ash. *Cellulose* **23**, 3319–3330 (2016).
 8. Ermen, W. F. A. & Jenkins, S. H. Action of Caustic Soda on Cotton Cellulose. 9–12 (1927).
 9. Arib, R. M. N., Sapuan, S. M., Ahmad, M. M. H. M., Paridah, M. T. & Khairul Zaman, H. M. D. Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. *Mater. Des.* **27**, 391–396 (2006).
-

PEMANFAATAN SERAT ABAKA DALAM PEMBUATAN BENANG KERTAS UNTUK PENGRAJIN DI KABUPATEN TALAUD

A STUDY ON UTILIZING ABACA FIBER IN PAPER YARN MAKING FOR ARTISANS IN THE TALAUD REGENCY

Sabrina Ilma Sakina, Asyifa Rachmadina Jiniputri, Alifa Rasyida Ahmad, Novita Sari, Syafira Audianty, Nadiyah Husna, Dian Widiawati

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung 40132 Indonesia, Telepon: +62-22-2501214
E-mail: sabrina.sakina@office.itb.ac.id

ABSTRAK

Kabupaten Talaud, Sulawesi Utara, merupakan salah satu produsen serat abaka di Indonesia. Secara tradisi, daerah ini memiliki budaya tekstil terkait pengolahan serat abaka, namun kini pengrajin yang memiliki keterampilan tersebut sudah langka. Oleh karena itu, pembuatan benang kertas menjadi salah satu alternatif untuk menambah nilai (*added value*) serat abaka dari Talaud. Poin yang harus diperhatikan dalam penambahan nilai adalah dapat dilakukan oleh komunitas setempat dan memiliki dampak lingkungan yang minim. Artikel ini merupakan studi literatur terhadap serat abaka, pengolahan benang kertas, dan peluang pemanfaatan serat abaka di Kabupaten Talaud. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa abaka dapat diolah dengan soda abu, *wetting agent*, dan soda kaustik, hingga menjadi kertas serupa proses pembuatan kertas hanji di Korea atau washi di Jepang. Kertas tersebut dapat diolah menjadi benang dengan cara dipotong tipis dan digintir serupa pembuatan benang shifu. Proses pengolahan tersebut dapat diolah secara industrial maupun manual, sehingga dinilai dapat diterapkan pada skala komunitas pengrajin di Kabupaten Talaud.

Kata kunci: abaka, pembuatan kertas, benang kertas, Talaud

ABSTRACT

Talaud Regency, North Sulawesi, is one of the abaca fiber producers in Indonesia. Traditionally, this area has had a textile culture related to the processing of abaca fiber, but now the artisans who have these skills are rare. Therefore, making paper yarn is an alternative to add value to the abaca fiber from Talaud. The point to note in adding value is that it is feasible to be done by the local community and has minimal environmental impact. This article is a literature study on abaca fiber, paper yarn processing, and opportunities for abaca fiber utilization in Talaud Regency. In this study, it was found that abaca can be processed with soda ash, wetting agent, and caustic soda, to become paper similar to the process of making hanji paper in Korea or washi in Japan. The paper can be processed into thread by cutting it thinly and twisting it, similar to shifu yarn. The processing can be done industrially or manually, so it is considered applicable at the scale of the artisans' community in the Talaud Regency.

Keywords: abaca, paper-making, paper yarn, Talaud

PENDAHULUAN

Abaka (*Musa textilis*) (lihat Gambar 1) merupakan salah satu tanaman yang umum digunakan sebagai sumber serat untuk kebutuhan tekstil. Serat abaka diambil dari pelepah (*pseudo-stem*). Abaka lebih umum dikenal sebagai hasil agrikultur dari Filipina, Ekuador, dan Kosta Rika,¹ namun di Indonesia, abaka dapat ditemui di Kalimantan, Sumatera (terutama di Aceh Timur dan Pulau Simelue), dan Sulawesi Utara,² terutama di Kabupaten Talaud.

Semula, serat abaka digunakan untuk membuat kain kofo, kain tenun tradisional dari Talaud. Namun, saat ini, pengetahuan mengenai cara mengolah serat abaka menjadi benang tenun untuk kain kofo hampir punah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mencari alternatif pengolahan serat untuk penghasil serat abaka di daerah Talaud.

Dari sebuah diskusi dengan PT COFO Indonesia, yang berbasis di Sulawesi Utara, pada awal tahun 2020 disimpulkan bahwa proses pembuatan benang dari serat abaka yang diharapkan oleh pengrajin adalah mudah dibuat dengan alat sederhana, tidak berserabut, ataupun ada sambungan yang menyulitkan proses penenunan, dan aman bagi lingkungan karena keterbatasan sarana pengolahan limbah.

Kertas merupakan produk hasil olahan serat abaka yang paling umum ditemui.² Abaka, sebagai sumber serat untuk kertas, digunakan dalam pembuatan kain, uang kertas,⁴ kertas filter rokok, kantong filter vakum,

kantong teh, pulp kertas, dan sebagainya¹. Kertas yang terbuat dari serat abaka memiliki karakteristik sulit sobek, sehingga sering juga digunakan untuk bahan dokumen penting dan materai.⁵ Serat abaka memiliki kandungan selulosa yang tinggi² dan lignin yang rendah,⁶ sehingga dianggap cocok untuk *pulping* untuk kertas. Namun, kertas abaka bersifat kasar, sehingga tidak cocok untuk tulis-menulis.⁶



Gambar 1. Tanaman abaka³

Benang kertas merupakan produk tradisional dari Asia Timur, terutama Jepang dan Korea. Benang ini disebut sebagai *kami-ito*⁷ atau *shosenshi*⁸ di Jepang, dan biasanya diolah dari kertas serat murbei (*washi* dalam bahasa Jepang, atau *hanji* dalam bahasa Korea), sedangkan kain yang terbuat dari benang kertas disebut *shifu*. Kertas abaka telah dikembangkan menjadi benang oleh berbagai merk internasional, dengan jargon keberlanjutan, misalnya OJO+, Abacell,⁹ dan Bananatex.¹⁰ OJO+ mengklaim benang kertas dari serat abaka *sustainable* karena tanaman abaka tumbuh cepat (panen dalam 3 tahun), tidak membutuhkan pupuk ataupun pestisida, *bio-degradable*, dan tidak toksik ketika dibakar. Lebih jauh lagi, Abacell mengklaim bahwa benang kertas abaka lebih ringan daripada katun dan tidak memiliki *fluff* sehingga aman bagi pemakai yang memiliki alergi.

Namun ketiga brand benang kertas abaka tersebut memanfaatkan teknologi canggih dalam proses pembuatan benangnya, misalnya *precision rotary cutter*, mesin pintal otomatis, dan sebagainya. Padahal, pengrajin di Talaud belum memiliki akses kepada teknologi tersebut.

Mengolah serat abaka menjadi benang dengan teknik *paper yarn making* menjadi alternatif yang memungkinkan untuk ditelaah lebih lanjut, karena merupakan teknik yang tradisional dan sederhana serta ramah lingkungan.

SEJARAH PEMBUATAN KERTAS

Secara teknis, proses pembuatan kertas tidak mengalami perubahan yang drastis dari era kuno hingga kini.¹¹ Sejarah pembuatan kertas dimulai di Cina,¹² dengan catatan mengenai pembuatan kertas ditemukan berasal dari era 105 SM. Namun, peninggalan artefak kertas paling tua ditemukan berasal dari sekitar 200 SM. Pembuatan kertas kemudian berkembang di Jepang sekitar 500 tahun kemudian. Salah satu ciri khas teknik pembuatan kertas Jepang adalah penambahan pengental (*mucilage*) dari tanaman *neri* ke dalam bak penyaringan. Penambahan pengental menghindari terjadinya penggumpalan serat dan memperlambat proses penyaringan sehingga serat dapat terdistribusi dengan lebih merata.

Pada awalnya, kertas dibuat dari perca kain yang dibusukkan, namun seiring berkembangnya teknologi pelumatan, maka berbagai macam serat mulai digunakan, terutama serat selulosa *bast*.¹¹ Di Cina Kuno, digunakan campuran perca, *hemp*, dan kulit kayu. Di Jepang Kuno, kertas dibuat dari *kozo* (murbei), *mitsumata*, dan *gampi* (lihat Gambar 2). Di Samarkand pada masa Islam kuno, digunakan serat *flax*. Di India, kertas dibuat dari perca, jute, *flax*, ataupun serat tanaman lainnya. Bisa dikatakan bahwa setiap daerah memiliki bahan lokal yang dapat diolah menjadi kertas.

Untuk mempersingkat waktu pelumatan, serat biasanya direndam (*retting*) dulu dalam larutan alkali. Di Jepang, secara tradisional, larutan alkali diambil dari abu bakaran jerami atau alang-alang,¹² seperti halnya soda kaustik ataupun *soda ash*. Di India, digunakan larutan kapur (*lime powder*) dan sejenis *soda ash* untuk mempercepat waktu perendaman serat.

Serat kemudian dilumat dengan cara ditumbuk. Proses penumbukan ini awalnya dilakukan secara manual dengan palu kayu, namun ketika pembuatan kertas menyebar ke Eropa, para pembuat kertas di Italia pada era 1300 M mulai memanfaatkan tenaga air untuk menggerakkan penumbuk secara mekanis. Penumbuk mekanis ini kemudian berkembang menjadi Hollander *beater* di era 1660-1670 M.¹¹



Gambar 2. (dari kiri atas, searah jarum jam) Tanaman *gampi*, *kozo*, *neri*, dan *mitsumata*¹³

Penyaringan pulp yang biasa ditemukan dalam pembuatan kertas manual masa kini disebut *nagashi-zuki* atau *tame-zuki*,¹² yaitu mencelupkan saringan ke dalam bak larutan pulp. Semula, diperkirakan larutan pulp justru dituang ke atas cetakan saringan.¹¹ Gaya penyaringan dengan metoda tuang ini masih dipraktekkan di beberapa daerah di Tibet, Nepal, Cina, Vietnam, dan sebagainya. Setelah menuangkan larutan pulp ke atas saringan, hasil saringannya kemudian dicetak ke atas papan. Penggunaan *mould* baru berkembang setelah itu.

PEMBUATAN KERTAS ABAKA

Proses ekstraksi serat abaka dapat dilakukan dengan cara manual (*hand-stripping*), *spindle stripping*, ataupun menggunakan dekortikator. Proses ekstraksi menggunakan dekortikator menghasilkan serat bersih yang paling banyak (*high yield*).¹ Masyarakat di Talaud sendiri telah mendapatkan pelatihan untuk menggunakan dekortikator¹⁴ (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Hasil serat abaka dari Talaud yang telah diekstraksi menggunakan dekortikator dan dikeringkan

Setelah serat diperoleh, maka untuk dibuat menjadi kertas, serat abaka harus dipersiapkan untuk *pulping*.⁶ Pada tahap persiapan ini, serat direbus dengan soda kaustik/NaOH (*oxygen delignification*).

Tahap pembuatan kertas dari serat abaka sendiri terdiri atas empat langkah, yaitu *beating*, *handsheet making*, *pressing*, dan pengeringan. *Beating* (lihat Gambar 4) adalah proses penghalusan (*refining*) pulp, di mana panjang serat akan berbanding terbalik dengan tingkat kehalusan (*degree of refining*), dan jumlah kepadatan serat berbanding lurus dengan tingkat kehalusan. Berbeda dengan kertas yang dibuat di skala industri, penelitian Khan⁶ menggunakan teknik *handsheet making*, yaitu mencetak kertas di atas saringan secara manual, dan menghasilkan kertas dengan berat 60 g/m².



Gambar 4. Hollander *beater* untuk menghaluskan pulp serat, didokumentasikan oleh Alvinska Octaviana

Kepadatan kertas dapat ditingkatkan melalui peningkatan kehalusan dan melakukan *wet pressing*.⁶ Penghalusan pulp tidak mempengaruhi indeks *tensile strength*, sehingga dianggap bahwa serat abaka kurang cocok untuk kertas tulis ataupun cetak (*printing*).

PEMBUATAN BENANG KERTAS

Walaupun diperkirakan telah mulai dibuat sejak awal bangsa Jepang membuat kertas, benang kertas pertama kali ditemukan dalam teks abad ke-8 hingga 10 di Jepang.¹⁵ Pada awalnya, kertas yang digunakan untuk benang biasanya terbuat dari kain perca. Pada era Edo, *shifu* di daerah Shiroshi mengalami perkembangan pesat karena iklim daerah tersebut sangat cocok untuk menanam *kozo*, sumber serat *bast* untuk kertas.

Chummun, dkk.¹⁶ telah mencoba memanfaatkan kertas untuk benang dalam skala IKM. Dalam penelitian tersebut, terdapat dua teknik pengolahan kertas yang digunakan, yaitu melipat dan menggintir. Teknik melipat digunakan untuk kertas yang tebal. Secara umum, kertas yang digunakan untuk membuat benang harus memiliki *wet-strength* yang memadai, dibasahi terlebih dahulu, memiliki distribusi serat yang merata, dan lebar yang tetap sepanjang pita kertas. Pita kertas yang digunakan selebar 0,5, 1, 1,5, dan 2 cm.

Lebar pita kertas dan berat kertas mempengaruhi kehalusan benang kertas. Dalam pembuatan benang dari *hanji*, lebar pita kertas yang digunakan adalah 0,8 hingga 1,5 mm¹⁷ untuk benang halus. Berat kertas yang digunakan untuk pembuatan benang berkisar antara 8-14 g/m², dengan kertas berat 8-10 g/m² digunakan khusus untuk benang halus. Pita kertas kemudian digulung (lihat Gambar 5) dalam keadaan lembab agar mudah dipintal. Dalam proses pemintalan pun, pita kertas harus tetap basah.¹⁸ Pita kertas yang basah akan menghasilkan benang dengan *tensile properties* yang lebih tinggi dan pegangan yang lebih nyaman.

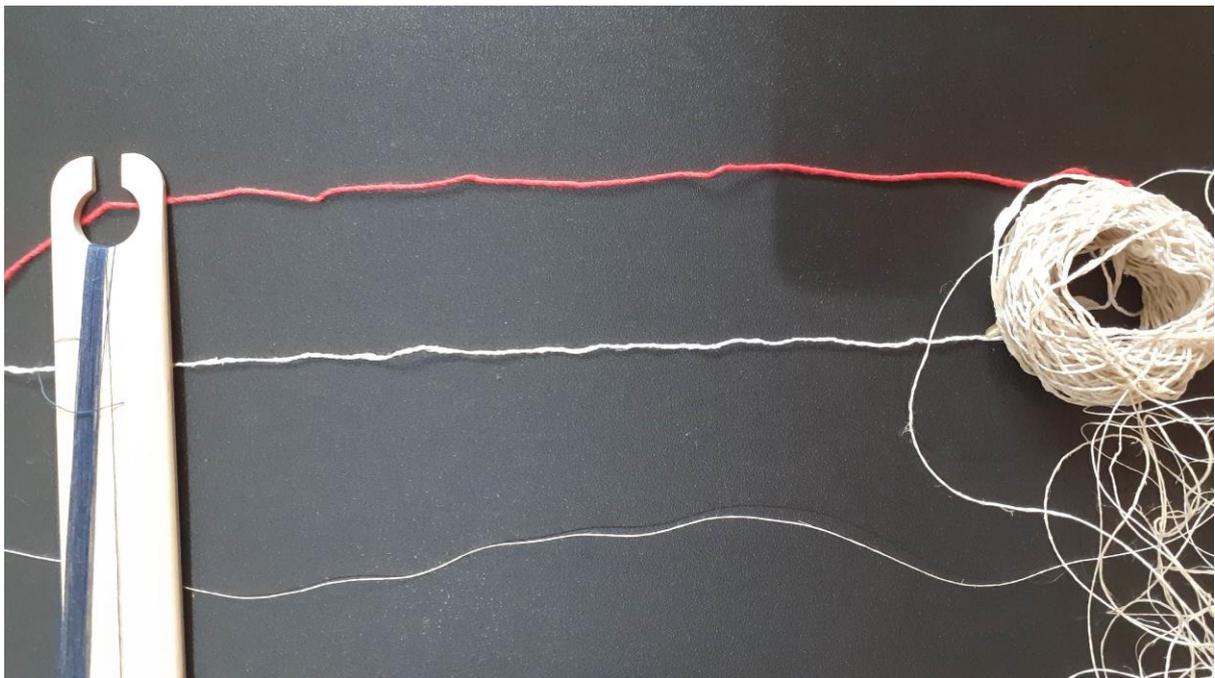
Pita kertas lebar 5-10 mm dengan berat 8-10 g/m² akan menghasilkan benang berukuran 7-11 Ne.¹⁸ Benang seukuran ini bisa digunakan sebagai lusi untuk kain denim bahan celana.¹⁹ Setelah dipintal, gintiran

benang perlu distabilkan dengan cara dipanaskan, baik secara kering (dalam oven)¹⁸ ataupun basah (dikukus pada suhu 105°C selama 14 menit).²⁰



Gambar 5. Pita kertas yang digulung

Kain yang dibuat menggunakan benang kertas memiliki kesan lebih ringan daripada katun, memiliki *color fastness* yang memungkinkan untuk dikomersialisasi (terutama menggunakan pewarna sintetis), dan *elastic recovery* yang relatif tinggi.²⁰ Kain dari benang kertas juga jauh lebih cepat mengering daripada kain dari benang katun biasa, walaupun daya serap benang kertas lebih tinggi daripada benang katun biasa. Secara tampilan, tidak ada perbedaan signifikan antara kain dari benang kertas dan kain dari benang katun biasa (lihat Gambar 6).

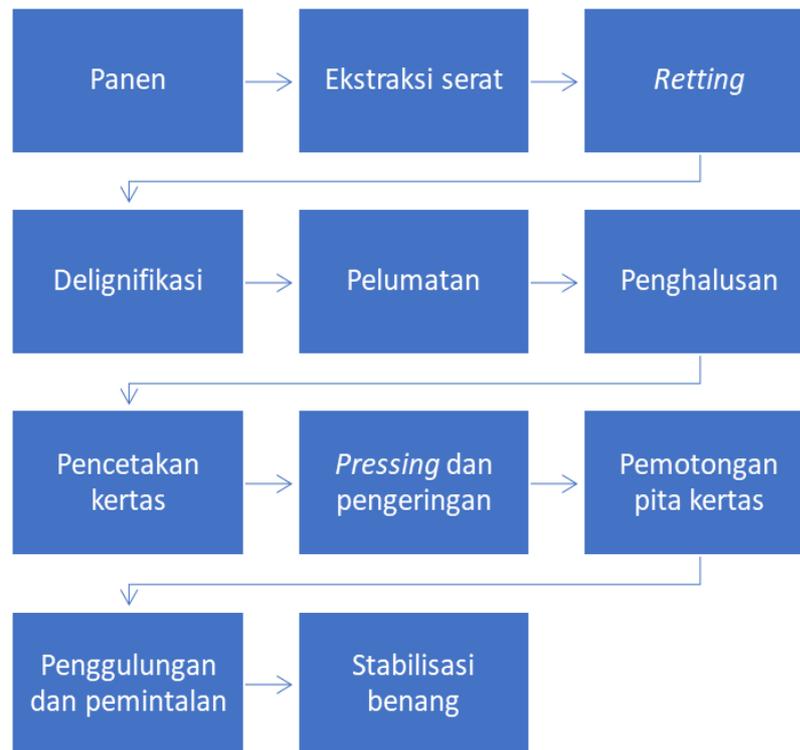


Gambar 6. Perbandingan visual benang katun (merah, atas), benang kertas (putih, tengah), dan benang serat (putih, bawah)

Dari sifat-sifat tersebut, dapat dikatakan bahwa peluang untuk memanfaatkan benang kertas dari serat abaka untuk kebutuhan tekstil sangat besar.

KESIMPULAN

Secara umum, maka proses pengolahan serat abaka menjadi benang kertas adalah sebagaimana dalam Gambar 7.



Gambar 7. Proses pengolahan benang kertas dari serat abaka

Jika kita kembali pada bahasan di bagian pendahuluan, maka proses yang diperlukan untuk mengolah serat abaka menjadi benang kertas di Talaud seharusnya dapat dibuat secara manual, tidak membutuhkan peralatan rumit (namun dapat memanfaatkan dekortikator), dan dapat dikelola oleh IKM. Dari penjelasan proses pembuatan kertas dan benang kertas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pembuatan kertas dan benang kertas merupakan teknik tradisional yang dapat dilakukan secara manual, walaupun kini telah tersedia teknologi otomasi yang lebih efisien;
2. Proses pembuatan kertas dapat memanfaatkan bahan kimia basa lemah, seperti *soda ash*, ataupun basa kuat seperti soda kaustik, dan dapat ditunjang dengan proses *retting* dan pelumatan; hal ini membuka peluang untuk mencari campuran bahan kimia yang ramah lingkungan sekaligus ramah lingkungan;
3. Ekstraksi serat abaka menggunakan dekortikator adalah yang paling efisien, sehingga penggunaan dekortikator di daerah Talaud sudah memadai;
4. Pembuatan kertas dari serat abaka harus bisa mencapai berat 8-14 g/m² agar dapat diolah menjadi benang dan harus bisa dicapai dengan *handsheet making*;
5. Pita kertas selebar 10 mm masih bisa menghasilkan benang ukuran 7 Ne, sehingga pemotongan pita kertas bisa dilakukan secara manual, tidak memerlukan mesin presisi.

Dari kesimpulan di atas, peluang untuk memanfaatkan serat abaka sebagai bahan untuk benang kertas di Kabupaten Talaud sangat besar. Tentunya, dengan penggunaan teknologi sederhana, proses ini akan menjadi padat karya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini disponsori oleh Program Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM ITB tahun 2020 dan PT COFO Indonesia, Manado, Sulawesi Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Radoor, S., Karayil, J., Rangappa, S., Siengchin, S. & Parameswaranpillai, J. A review on the extraction of pineapple, sisal and abaca fibers and their use as reinforcement in polymer matrix. *eXPRESS Polymer Letters* **14**, 309-335 (2020).
- 2 Saragih, S. W., Lubis, R., Wirjosentono, B. & Eddyanto. in *AIP Conference Proceedings*. 020058 (AIP Publishing LLC).
- 3 Deutsche Gesellschaft für Internationale GmbH, Z. G., doi:<http://www.philfida.da.gov.ph/images/Publications/abacasustainabilitymanual/ASM.pdf> 32 (2016).
- 4 Sudjindro. PROSPEK SERAT ALAM UNTUK BAHAN BAKU KERTAS UANG. *Perspektif* **10**, 92-104 (2011).

- 5 Santoso, B., Mastur, M. & Kadarwati, F. T. ABAKA (*Musa textilis* Nee) SEBAGAI SUMBER SERAT ALAM, PENGHASIL BAHAN BAKU PULP/Abaca (*Musa textilis* Nee) As The source of Natural fiber, Producing raw Material for. *Perspektif: Review Penelitian Tanaman Industri* **15**, 1-10 (2017).
 - 6 Khan, M., Sarkar, M., Al Imam, F. I., Khan, M. Z. H. & Malinen, R. O. Paper making from banana pseudo-stem: Characterization and comparison. *Journal of Natural Fibers* **11**, 199-211 (2014).
 - 7 Larrea, C. Shifu, el arte tradicional del tejido en papel del Japón. *Documentos de Trabajo en Estudios Asiáticos* **1**, doi:http://estudiosasiaticos.uc.cl/images/Documentos/DT_Politica_editorial.pdf (2017).
 - 8 Oji Fiber Co., L. *OJO+*, <<http://www.ojifiber.co.jp/en/>> (2017).
 - 9 Heayi Trading Co., L. *Abacell*, <<http://www.abacell.co/about/>> (2018).
 - 10 QWSTION International, G. *Bananatex*, <<https://www.bananatex.info/>> (2020).
 - 11 Hunter, D. *Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft*. doi:<https://books.google.co.id/books?id=1sEp3rtK994C> (Dover Publications, 1978).
 - 12 Hubbe, M. A. & Bowden, C. Handmade paper: A review of its history, craft, and science. *BioResources* **4**, 1736-1792 (2009).
 - 13 Japan, P. o. *Material*, <<https://poj.co.jp/paper/category/material/>> (2020).
 - 14 Haris, A. Sosialisasi Dan Pelatihan Proses Pembuatan Serat Abaca Dari Pohon Pisang Abaca Di Kabupaten Kepulauan Talaud Propinsi Sulawesi Utara. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* **4**, 440-446 (2020).
 - 15 Karuno, H. in *Textile Society of America Symposium Proceedings*. (Textile Society of America).
 - 16 Chummun, J. & Rosunee, S. Manufacture of Folded and Twisted Paper Yarn. *Research Journal of Textile & Apparel* **16** (2012).
 - 17 Lee, K. E. & Sanders, E. A. in *Green Fashion* 159-184 (Springer, 2016).
 - 18 Park, T. Y. & Lee, S. G. A study on coarse Hanji yarn manufacturing and properties of the Hanji fabric. *Fibers and Polymers* **14**, 311-315 (2013).
 - 19 Denim Fabric Manufacturing. Report No. ISP 1010, (Cotton Incorporated, North Carolina, 2004).
 - 20 Park, T. Y. & Kim, M.-O. Manufacture and physical properties of the denim fabrics using Hanji paper yarn as weft yarn. *Fashion and Textiles* **5**, 26 (2018).
-

KETERSEDIAAN LAWE LOWO DALAM MENJAGA KEBERLANGSUNGAN TRADISI TENUN GEDHOG DI KEREK, TUBAN

AVAILABILITY OF LAWE LOWO IN MAINTAINING THE SUSTAINABILITY OF WOVEN GEDHOG TRADITION IN KEREK, TUBAN

Bramantijo,¹ M Junaidi Hidayat,² M Arifin³

¹Prodi Seni Rupa, Sekolah Tinggi Kesenian Wilwatikta (STKW) Surabaya
Jl. Klampis Anom II, Wisma Mukti, Sukolilo Surabaya
E-mail: bramantijo1968@gmail.com

²Prodi Desain Produk, Institut Teknologi Adhi Tama (ITAT) Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim No. 100 Sukolilo, Surabaya
E-mail: junaidi.despro@itats.ac.id

³Prodi Seni Rupa, Sekolah Tinggi Kesenian Wilwatikta (STKW) Surabaya
Jl. Klampis Anom II, Wisma Mukti, Sukolilo Surabaya
E-mail: alondo2503@gmail.com

ABSTRAK

Lawe lowo merupakan benang tenun berwarna coklat untuk membuat kain tenun Gedhog motif *Intip Ian, Cele, Sleret Blungko, Dom Sumelap, Usik, dan Upan-upan*. Ketrampilan membuat *lawe* dengan bahan kapas *lowo* (kapas coklat) merupakan bagian dari rangkaian tradisi menenun perempuan di Kerek, Tuban. Karakter kapas *lowo* yang mudah putus saat dipintal (*ngantih*) menjadi benang (*lawe*) serta ditenun, menguji keterampilan, dan kesabaran penenun dalam menghasilkan selembar kain tenun. Saat ini penenun lebih menyukai benang pabrik yang seratnya lembut, rapi, dan mudah dibeli, sehingga tidak repot memintal kapas. Permasalahan dalam penelitian ini adalah melihat akibat dari penggunaan benang pabrik terhadap keberlangsungan tradisi menenun perempuan Kerek yang menempatkan memintal kapas sebagai bagian penting dalam ritual menenun. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan bersifat etnografi, data dikumpulkan melalui wawancara mendalam terhadap 10 penenun senior, observasi partisipatif, FGD, divalidasi dengan triangulasi sumber data, serta dianalisis menggunakan model interaktif. Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa akibat penggunaan benang pabrik, penenun kurang berminat membuat *lawe lowo* yang telah menjadi bagian dari tradisi menenun di Kerek. Penelitian ini berimplikasi pada pentingnya proses revitalisasi penggunaan *lawe lowo* untuk tenun Gedhog dan mempertahankan tradisi menenun bagi perempuan di Kerek sejak dari mengolah kapas menjadi *lawe* hingga menghasilkan kain tenun. Implikasi penting lainnya adalah perlunya diintensifkan penanaman kapas *lowo* di Kerek sebagai bahan *lawe* untuk kain tenun Gedhog guna menjaga keberlangsungan regenerasi tradisi menenun kain Gedhog.

Kata kunci: *lawe lowo*, tradisi, kain tenun Gedhog

ABSTRACT

Lawe Lowo is brown yarn for weaving to make Gedhog woven cloth in *Intip Ian, Cele, Sleret Blungko, Dom Sumelap, Usik, and Upan-upan* motifs. The skill of making *Lawe* with *Lowo* cotton materials (Brown cotton) is a part of women's weaving tradition in Kerek, Tuban. The character of *Lowo* cotton which is easily broken at the time it is spun (*Ngantih*) becomes the yarn (*Lawe*) and also woven, tests the skill and the patience of the weaver in producing a piece of woven cloth. Today the weaver prefers to use factory made yarn which is soft, tidy, and easy to buy so it does not need to spin cotton. The problem in this research is to analyze the impact of the factory made yarn towards the sustainability of the women's weaving tradition in Kerek which puts spinning cotton as an important part in weaving ritual. This research uses qualitative approach and is ethnographic, the data were collected through deep interviews to 10 senior weavers, participatory observation, FGD, being validated by triangulation of data source, and being analyzed by using interactive model. The conclusion of the research states that the impact of using factory made yarn, the weaver is lazy to make *Lawe Lowo* which is a part of weaving tradition in Kerek. This research has implication for the importance of maintaining the tradition of producing woven cloth. Another implication is the need to intensify *Lowo* cotton cultivation in Kerek as *Lawe* material for Gedhog woven cloth to maintain the sustainability of regeneration in the tradition of weaving Gedhog cloth.

Key words: *lawe lowo*, tradition, Gedhog woven cloth

PENDAHULUAN

Tenun Gedhog merupakan salah satu hasil kerajinan bahan sandang yang memiliki corak atau motif yang khas.¹ Nama Gedhog yang digunakan pada kain tenun dari Kerek, Tuban ini diambil dari proses pembuatan kain tenun menggunakan alat tenun tradisional, yang menimbulkan suara khas *dhog-dhog*, yang diakibatkan oleh benturan kayu pada bagian alat tenun yang disebut *lorogan* dan *totogan*.² Akibat suara khas itulah maka kain tenun yang dihasilkan dinamakan kain tenun Gedhog dan batik yang dikerjakan menggunakan kain tenun Gedhog disebut batik tenun Gedhog.³

Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, terletak ± 25km sebelah barat daya kota Tuban, dikenal sebagai daerah gersang dan kering. Sebagian besar lahannya berupa ladang (*tegalan*) dan hanya dapat ditanami kacang tanah, jagung, singkong, dan sebagian kapas, dengan sistem pertanian tadah hujan. Di daerah ini justru tersimpan warisan budaya bernilai tinggi, yaitu kerajinan tenun dan batik. Aktivitas kerajinan tenun dan batik dilakukan sebagian besar wanita di Desa Gaji, Kedungrejo, dan Margorejo, untuk mengisi waktu luang saat selesai musim garap dan musim panen. Kerajinan ini merupakan warisan turun-temurun yang proses pengerjaannya banyak melibatkan kaum wanita mulai dari anak-anak sampai nenek-nenek.⁴

Untuk menghasilkan sehelai kain tenun Gedhog oleh masyarakat Kerek, diperlukan proses yang panjang dan rumit, mulai dari menanam kapas, memintal kapas menjadi benang, hingga menenun menjadi selembar kain yang dikerjakan secara tradisional oleh masyarakat Kerek sendiri,^{4,5} sehingga tenun dan batik bagi masyarakat Kerek sarat dengan nilai-nilai tradisi dan menjadi bagian penting dalam prosesi ritual.⁶ Keberhasilan mengolah gumpalan kapas menjadi benang (*lawe*) khususnya *lawe lowo* bagi gadis-gadis di Kerek menjadi salah satu ukuran kematangan atau kedewasaan. *Lawe* yang dihasilkan dengan panjang tertentu akan dibawa oleh orang tua mereka ke pasar untuk dijual sebagai bagian dari ritual kesiapan mereka melanjutkan tradisi menenun. Untuk menjaga keberlangsungan tradisi membuat *lawe*, maka ketersediaan kapas putih maupun coklat yang dihasilkan dari ladang-ladang kapas di Kerek perlu dipertahankan.

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh gambaran tentang dampak kelangkaan *lawe lowo* dan penggunaan benang pabrik terhadap keberlangsungan produksi kain tenun Gedhog dan upaya masyarakat Kerek dalam mempertahankan tradisi menenun kain Gedhog.

METODE

Penelitian dilaksanakan dengan pendekatan yang bersifat kualitatif, dengan memanfaatkan latar alami,⁷ melalui sejumlah langkah, di antaranya: (1) pengumpulan data secara etnografi dan melalui observasi langsung pada pelaku budaya,⁸ wawancara mendalam dengan 10 narasumber terpilih terdiri dari tokoh adat dan penenun senior,⁹ studi terhadap dokumen artefak motif kain tenun kuno, dan *focus group discussion* (FGD) dengan penenun;¹⁰ (2) pengorganisasian hasil pengumpulan data; (3) analisis interaktif dengan mengkaji hubungan antropologis kultur masyarakat di Kerek dengan kain tenun yang dihasilkan,¹¹ dan merumuskan kesimpulan.¹²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kain Tenun Gedhog sebagai Produk Tradisi

Kain tenun Gedhog dibuat dari serat kapas dengan alat tenun tradisional. Tampilan fisik kain tenun yang unik mengekspresikan tradisi masyarakat penenun yang kuat. Sejak dari menanam dan memanen kapas di ladang, memintal (*ngantih*) kapas menjadi *lawe*, merangkai benang menjadi kain tenun, dan membatik di atas kain tenun, dilakukan oleh perempuan Kerek tanpa melibatkan pihak di luar wilayah Kerek. Kemandirian dalam produksi kain tenun menjadi ciri khas dalam menghasilkan kain tenun Gedhog. Kain tenun Gedhog dibuat dengan bahan baku dua jenis kapas, yaitu kapas berwarna putih dan kapas berwarna coklat. Tenun gedhog memiliki lebih dari 30 motif, khusus kapas coklat (kapas *lowo*) digunakan untuk bahan tenun Gedhog motif *Intip Ian*, *Cele*, *Sleret Blungko*, *Dom Sumelap*, *Usik*, dan *Upan-upan*.⁵

Bagi perempuan Kerek, dikatakan mahir menenun bila menguasai rangkaian proses mulai mengolah kapas hingga menjadi selembar kain tenun dalam berbagai motif. Proses pembuatan kain tenun Gedhog dimulai dari:

1. Menggiling kapas, yaitu memisahkan kapas dan biji-biji kapas dengan peralatan *gilingan* tradisional terbuat dari kayu. Hasil gilingan selain memisahkan kapas dan biji, juga menghasilkan lembaran kapas menjadi padat dan rata.
2. *Musoni*, yaitu mengurai kapas yang sudah digiling dengan alat *pusoh*. *Pusoh* adalah alat yang dibuat dari bambu dan kulit kayu yang berbentuk mirip busur, serta *jedhul* berbentuk seperti pemukul gong pada gamelan Jawa berukuran 15-20 cm. Kapas yang telah terurai digulung dan disebut *pusuhan* untuk kemudian diproses melalui *ngantih*.



Gambar 1. *Nggiling* atau *nggiles* kapas



Gambar 2. *Ngantih* kapas *lowo*

3. *Ngantih*, yaitu memintal gulungan kapas menjadi benang (*lawe*) dengan alat yang disebut *jantra*. *Jantra* dibuat dari kayu, bambu, tali, terdiri dari komponen roda, tali (*klinden*) dan *kisi*. Pekerjaan *ngantih* memerlukan ketelitian dan ketekunan, sehingga biasanya dikerjakan oleh perempuan yang sudah tua. *Ngantih* menjadi ujian pertama bagi gadis desa di Kerek sebagai generasi penerus penenun. *Ngantih* kapas coklat (*lowo*) lebih sulit dari pada kapas putih, karena seratnya lebih pendek dan mudah putus, sehingga memerlukan kesabaran dan ketrampilan yang baik.
4. *Nglikasi*, yaitu menggulung *lawe* hasil *ngantih* pada rangka segi empat yang disebut *likasan*. Hasil *nglikasi* adalah gulungan *lawe*, setiap gulungan *lawe* yang dilepas dari *likasan* berukuran 1 *tukel* terdiri dari 39 *kawan* - 2 *odo*. Warna *lawe* dalam satu *tukel* sesuai dengan warna kapas. Apabila akan membuat kain tenun berwarna, *lawe* diwarnai lebih dahulu.



Gambar 3. *Nglikasi* dan *ngulur lawe*



Gambar 4. Menenun dengan alat tenun Gedhog

5. *Nyekuli*, yaitu memproses *lawe* menjadi lebih padat dan kaku. Benang diolah dengan menggunakan sedikit nasi (*sekul*) yang dihancurkan dengan air. Setelah *nyekuli*, *lawe* diurai, dan diulur dengan alat yang disebut *ingan*, selanjutnya *lawe* dibersihkan dan disikat.
6. *Mameni*, *lawe* yang sudah diulur dililitkan pada alat yang disebut *manen* bertujuan untuk menyambungkan *lawe* agar menjadi lebih panjang. Menggunakan alat yang bernama *jantra*, *lawe* pakan diikal pada *kleting* yang ketebalan ikalannya harus bisa dimasukkan ke dalam *teropong* yang berfungsi sebagai sekoci pada mesin jahit, sedangkan untuk menyiapkan benang *lungsen* digunakan alat yang bernama *panen*, sehingga pekerjaan ini disebut *maneni*. Hasil dari *maneni* adalah benang *lungsen* yang sudah diatur jumlah dan ukurannya sesuai dengan panjang sisir (*suri*) dari alat tenun yang akan digunakan, yaitu untuk ukuran selendang gendong (*sayut*) atau kain panjang (*jarik* atau *tapih*).
7. *Nyuruh*, yaitu proses menjahit/memasang benang pada sisir, bertujuan agar lebar kain sama dengan lebar *suri*. Bila benang *lungsen* dan benang *pakan* telah siap dirangkai pada alat tenun, maka proses menenun siap dilaksanakan. Benang *lungsen* (*lungs*) adalah benang yang dipasang pada alat tenun yang membujur, sedangkan benang *pakan* adalah benang yang dianyamkan pada *lungsen* dengan teknik tertentu.
8. Menenun, yaitu menganyam benang menjadi kain tenun menggunakan alat tenun tradisional

Pada masyarakat Kerek terdapat tradisi menjual *lawe* ke pasar dari hasil kerja anak gadis desa mereka dalam membuat *lawe*, minimal 1 gulungan (*tukel*) untuk pertama kalinya. Hal ini sebagai wujud penghargaan orang tua terhadap upaya anak perempuannya belajar *ngantih* serta menenun. *Lawe* yang dijual di pasar menggunakan ukuran *tukel* terdiri dari 39 *kawan* - 2 *odo*. Untuk membuat 1 lembar kain panjang ukuran 90 cm x 300 cm diperlukan kurang lebih 3 *tukel*. (Keterangan: 1 *kawan* terdapat 4 kelompok benang dan 1 kelompok benang terdiri dari 5 helai benang, jadi 1 *kawan* = 20 helai benang, dan 1 *tukel* = 20 x 39 = 780 helai benang).

Hasil tenunan perempuan Kerek yang disebut tenun Gedhog bila diperhatikan terlihat lebih kasar bila dibandingkan dengan kain hasil produksi pabrik, karena benang tenun Gedhog yang disebut *lawe* memang lebih besar dan kasar, maka bila digunakan sebagai bahan baku pakaian ataupun dibatik akan menghasilkan kain batik tenun yang khas dan berbeda dengan batik tenun dari daerah manapun di Indonesia.

Proses yang panjang dan rumit dalam menghasilkan kain tenun Gedhog menyebabkan sulitnya proses regenerasi penenun di Kerek. Gadis-gadis di Kerek lebih memilih membatik karena mereka bisa mengambil satu bagian saja dalam proses pembatikan dan setelah menyelesaikan pembatikan, cepat memperoleh upah. Situasi ini menjadi keprihatinan para penenun tua, anak perempuan dan cucu perempuan mereka tidak mau lagi belajar dan membantu membuat *lawe*, apalagi menenun. Mereka beralasan tidak telaten dan menginginkan bekerja selain menenun atau tertarik dengan ketrampilan lainnya seperti membatik dan menjahit. Bila pada tahun 2010 di Kerek masih ada lebih dari 100 penenun,⁴ maka tahun 2020 ini hanya tinggal 50-an penenun, mayoritas sudah tua dan sangat sedikit penenun muda yang produktif. Kondisi ini diperparah dengan makin sedikit petani yang mau menanam kapas karena turunnya harga kapas rakyat.

Kapas coklat yang secara tradisional ditanam petani Kerek, sejak 5 tahun lalu makin sulit diperoleh bibitnya, sehingga ketersediaan kapas coklat (kapas *lowo*) makin sedikit, dan perempuan Kerek yang *ngantih* (memintal) kapas *lowo* juga makin sedikit. Tawaran dari para pengepul kain tenun serta juragan batik untuk menggunakan benang pabrik yang lebih halus dan yang lebih kuat semakin mengancam pekerjaan *mengantih* perempuan Kerek. Tahapan ketrampilan dalam menghasilkan kain tenun Gedhog akan kehilangan proses awalnya seperti *nggiling*, *musoni*, *ngantih*, *nglikasi*, *nyekuli*, *ngulur*, dan *maneni*. Tahapan awal ini secara tradisional berperan dalam membentuk karakter perempuan penenun yang sabar, teliti dan tulus dalam menjalani kodrat sebagai penjaga dan penerus tradisi. Situasi selanjutnya, ketergantungan pada benang pabrik dan pewarna kimia untuk memperoleh benang coklat dan warna lainnya akan makin mempersulit upaya regenerasi penenun yang memiliki spirit mempertahankan tradisi leluhur mereka. Untuk menyeimbangkan kebutuhan produksi dan mempertahankan tradisi menenun masyarakat Kerek, maka perlu dicari solusi yang dapat mengurai kepentingan tersebut.

***Lawe Lowo* dalam Tradisi Masyarakat Penenun di Kerek**

Lawe lowo adalah benang tenun berwarna coklat. Nama *lawe lowo* digunakan pembatik Kerek untuk menyebut benang tenun yang berasal dari kapas coklat. Menurut penuturan penenun tua dan tokoh masyarakat Kerek, serta dokumentasi foto riset Ren Heringa tahun 1989-1990,⁶ *lawe lowo* sudah digunakan untuk membuat kain tenun tradisional motif *sleret blungko*, *intip iayan*, *galaran*, *usik*, *cele*, *dom sumelap*, dan *upan-upan*, sejak lama. Kapas coklat sebagai bahan *lawe lowo* meskipun dalam jumlah terbatas sudah ditanam petani kapas di Kerek, sejak lampau, jauh sebelum Balitbangtan meluncurkan 3 varietas kapas Bronesia 1 (coklat muda), Bronesia 2 (coklat muda), dan Bronesia 3 (coklat tua).^{13,14}

Kapas *lowo* dikenal masyarakat Kerek sebagai kapas yang memiliki serat pendek dan mudah putus saat dipintal (*ngantih*), sehingga perlu kesabaran dan ketelatenan dalam proses memintal. Hanya pemintal yang berpengalaman yang mampu menghasilkan *lawe lowo* sebanyak 1 *tukel* (39 *kawan* – 2 *odo*) dalam waktu kurang dari 4 hari, dibandingkan jika memintal kapas putih yang bisa diselesaikan dalam waktu 3 hari. Para orang tua (ibu dan nenek) di Kerek mengajarkan pada anak perempuan mereka untuk belajar memintal atau *ngatih* sejak kecil agar mereka terbiasa dan akrab dengan peralatan *ngantih* dan dengan sendirinya akan mencoba membuat *lawe* serta selanjutnya dengan ketulusan belajar menenun. Pada saat anak perempuan beranjak gadis maka *ngantih* kapas *lowo* menjadi semacam ujian kemahiran mereka dalam *ngantih*. Hal ini menjadi tradisi yang dilaksanakan secara turun temurun, karena keberadaan *lawe* sangat penting dalam kehidupan mereka. Bahkan pada setiap acara ritual di masyarakat Kerek, *lawe* menjadi pelengkap upacara.

Ketersediaan *kapas lowo* sangat penting bagi penenun Kerek, karena sebagai benang utama untuk menenun kain tenun tradisional dengan motif tertentu. Saat terjadi kelangkaan *kapas lowo* dan para pemintal tradisional tidak lagi mampu menyediakam *lawe lowo*, maka para penenun terpaksa mewarnai *lawe* putih (dari bahan kapas putih) dengan *soga* (pewarna alam) atau bahan pewarna kimia naphthol. Sepintas permasalahan kelangkaan *lawe lowo* terselesaikan, tetapi menurut para penenun tua, hal ini menyebabkan ciri khas kain tenun mereka kehilangan nilai alaminya. Mereka mengkhawatirkan juga dengan berkurangnya aktivitas memintal kapas *lowo*, akan menyebabkan keahlian perempuan Kerek dalam memintal kapas juga semakin menurun, bahkan tradisi memintal semakin ditinggalkan.



Gambar 5. Lawe putih dan lawe lowo sebagai pelengkap dari tradisi ritual *selamatan*



Gambar 6. Lawe lowo 1 tukel

Saat ini ladang kapas di Kerek semakin berkurang, sehingga produksi kapas juga berkurang, hal ini disebabkan rendahnya harga kapas saat dibeli pengepul (orang pabrik), sehingga petani merasakan keuntungan yang rendah dengan menanam kapas. Pada saat permintaan *lawe* atau benang meningkat sedangkan ketersediaan *lawe* putih maupun coklat terbatas, maka sebagian pemilik UMKM membeli benang pabrik untuk menutupi kekurangan *lawe*. Benang pabrik teksturnya lebih halus dan tidak mudah putus, sehingga penenun lebih menyukai benang buatan pabrik. Upaya yang lain, dengan menggunakan secara bersama benang pabrik sebagai *pakan* dan *lawe* kapas sebagai *lungsi* untuk membuat kain tenun. Kebiasaan menggunakan benang pabrik inilah yang menyebabkan para penenun semakin tergantung pada benang pabrik, maka para pembuat *lawe* tradisional makin kehilangan pelanggannya, dan pada akhirnya pembuat *lawe* juga beralih membuat atau bekerja serabutan lainnya. Situasi ini semakin memperparah proses regenerasi penenun yang dimulai dari ketrampilan memintal atau *ngantih* kapas, sehingga diperlukan upaya revitalisasi penggunaan *lawe lowo* untuk produk kain tenun Gedhog.

Program perakitan varietas kapas berwarna khususnya warna coklat di Indonesia yang dimulai pada tahun 2006 oleh Balittas (Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat) Malang, yang menghasilkan 3 varietas serat kapas coklat dengan 3 warna gradasi, yaitu Bronesia 1 (coklat muda), Bronesia 2 (coklat tua), dan Bronesia 3 (coklat tua),¹³ perlu mendapatkan dukungan, mengingat warna seratnya alami sehingga tidak diperlukan lagi pewarna tekstil dan ramah lingkungan. Pewarna tekstil merupakan kontributor polutan yang sangat tinggi dengan penggunaan bahan-bahan kimia sepanjang proses produksi kain, dan konsumsi air yang sangat banyak.¹⁴ Potensi produksi ketiga varietas tersebut masing-masing adalah 909 kg, 859 kg, 1.010 kg serat/ha. Kualitas serat kapas Bronesian umumnya lebih rendah dibandingkan dengan varietas unggul baru serat kapas putih (Kanesia 16-Kanesia 23) untuk panjang dan kekuatan serat.



Gambar 7. Kapas Varietas Bronesia (Coklat Muda)



Gambar 8. Perbandingan Warna Kapas Varietas Bronesia (Coklat Muda) dan Kanesia (Putih)

Serat kapas varietas Bronesian diklasifikasikan sebagai serat pendek (23,2-25,7 mm), sehingga teknik pemintalan manual dan konvensional dalam memproduksi benang, cocok untuk tenun tradisional, terutama

untuk kain tenun dengan warna dasar coklat.¹³ Penggunaan serat kapas coklat untuk memenuhi bahan baku serat perlu didukung, karena bahan kimia yang digunakan untuk pewarnaan di industri tekstil berkontribusi pada polusi tinggi di lingkungan.^{14,15,16}

Kehadiran tiga varietas kapas warna coklat ini belum memperoleh respon yang optimal dari petani kapas di Kerek, dengan alasan para petani masih kesulitan memperoleh bibit serta kebutuhan pasar yang masih rendah akibat penenun sudah terlanjur nyaman menggunakan banang pabrik. Perlu upaya bersama antara pemerintah daerah, penenun dan UMKM tenun, petani kapas, serta masyarakat menumbuhkan kesadaran dalam menjaga keberlangsungan tradisi yang penuh nilai-nilai luhur, dan tidak kalah penting memberikan harga bibit yang sesuai kemampuan petani dan menjamin kelancaran pemasaran dengan harga yang tidak merugikan petani kapas, sehingga usaha tenun Gedhog dengan menggunakan *lawe lowo* diharapkan akan terjaga keberlangsungannya.

KESIMPULAN

Penggunaan benang pabrik yang bertekstur halus dan tidak mudah putus untuk membuat kain tenun Gedhog telah merubah tradisi perempuan di Kerek yang biasa membuat benang sendiri untuk menenun. Keterampilan mengolah kapas khususnya kapas coklat (kapas *lowo*) menjadi benang (*lawe*) melalui proses yang rumit dan panjang mulai ditinggalkan, yang berakibat proses regenerasi penenun yang terampil, sabar, dan tulus dalam menjaga keberlangsungan tradisi menenun semakin sulit dilakukan, sehingga diperlukan proses revitalisasi penggunaan *lawe lowo* dalam produk kain tenun Gedhog.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bramantijo, Hidayat, M. J. & Mubaro, M. Aesthetic Values of Cocohan or Coblosan Motifs on Tuban Gedhog Handmade Batik. in *Proceedings of the 1st International Conference on Interdisciplinary Arts and Humanities* 330–335 (y SCITEPRESS – Science and Technology Publications, Lda., 2019). doi:10.5220/0008764303300335.
2. Bramantijo, Hidayat, M. J., Karsam & Mahjudin. The Image Product of the Locality and Product Branding Towards Tuban Gedhog Handmade Batik Through Packaging. in *6th International Seminar on Nusantara Heritage* 94–101 (Indonesia Art Institute, Denpasar, 2017).
3. Bramantijo, Karsam & Priyoleksono, T. Tote Bag Berbahan Tenun Gedhog sebagai Produk Penunjang bagi UKM Tenun dan Batik Gedhog Tuban. *Batoboh* 2, 124–132 (2017).
4. Lestari, K., Suhartini, T. & Dkk. *Rona Batik Tuban, Mantap, Menawan*. (Dinas Perekonomian dan Pariwisata, Kab. Tuban, 2011).
5. Ahmadi, J. K. & Natanegara, E. . *Tenun Gedhog: The Hand-Loomed Fabrics of Tuban, East Java*. (Media Indonesia Publishing, 2010).
6. Heringa, R. *Nini Towok's spinning wheel: cloth and the cycle of life in Kerek, Java*. (Fowler Museum at Ucla, 2010).
7. Rohidi. T.R. *Metodologi Penelitian Seni*. (Cipta Prima Nusantara, 2014).
8. Sutopo, H. B. *Qualitative Research Methodology: Theoretical Basis and Its Application in The Research*. (March Eleventh University Press, 2002).
9. Bogdan. R. C., B. S. K. *Qualitative Research for Education: An Introduction to Theory and Methods*. (Allyn and Bacon, 1982).
10. Greenbaum, T. L. *The Practical Handbook and Guide to Focus Group Research*. (Lexington Books, 1988).
11. Van Damme, W. Some Notes on Defining Aesthetics in the Anthropological Literature. *J. Anthropol. Soc. Oxford* XXII, 167–181 (1991).
12. Miles M.B., H. A. M. *Qualitative data analysis: A Sourcebook of New Methods*. (Sage Publications, 1984).
13. Hidayat RS., T. N. & Sunarto, D. A. Potential Of Brown Cotton Fiber Development For Sustainable Textile Materials. in *Proceeding Indonesian Textile Conference (International Conference) 3rd Edition Volume 1 2019* (Politeknik STTT Bandung, 2019).
14. Hidayat RS., T. N. & Sunarto, D. Developing of Indonesian colored cotton varieties to support sustainable traditional woven fabric industry No Title. in *1st International Conference on Sustainable Plantation (1st ICSP 2019)* (IOP Publishing, 2019).
15. Nugraha. Jakariya, E. Y. R. Pemanfaatan Daun Rami sebagai Bahan Zat Warna Alam dan Fungsionalisasinya pada Pencelupan Kain Kapas dan Sutera. *ARENA Tekst.* 35, 29–38 (2020).
16. Abbasi, S. M. The future of organic colored cotton. *Vlakna a Text.* 26, 13–18 (2019).

PENGARUH PELAKSANAAN AUDIT TEKNOLOGI TERHADAP MANAJEMEN INDUSTRI TEKSTIL

EFFECT OF IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGY AUDITS ON TEXTILE INDUSTRY MANAGEMENT

Rita Normalia, Gugum Gumilar

¹Balai Besar Logam dan Mesin, Jl.Sangkuriang No. 12, Telp. 022 2503171
E-mail: rita.normalia@gmail.com, gugumgumilar.mt@gmail.com

ABSTRAK

Pada masa pandemi Covid 19, industri tekstil termasuk industri yang terdampak mengalami pukulan yang berat. Ditengah keterpurukan itu, masih ada celah bagi industri tekstil untuk bertahan hidup yaitu dengan memproduksi alat pelindung diri (APD) dan masker kain. Konservasi energi di industri tekstil dapat dicapai melalui penggunaan teknologi hemat energi dalam penyediaan, baik dari sumber tak terbarukan dan menerapkan budaya hemat energi dalam pemanfaat energi. Pelaksanaan audit teknologi di industri tekstil dapat meningkatkan keefektifan sistem manajemen industri tekstil. Penulisan hasil penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pelaksanaan Audit Teknologi di industri tekstil terhadap manajemen pengelolaan aset teknologi industri tekstil secara keseluruhan dalam rangka memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya dari audit teknologi. Metode penelitian ini terdiri dari identifikasi masalah, pengumpulan data, menganalisa permasalahan dan mengambil kesimpulan. Audit Teknologi Industri di tekstil berperan sebagai alat untuk mengevaluasi kelayakan dan kesesuaian suatu teknologi industri tekstil terhadap Standar Spesifikasi Teknologi Industri Tekstil sehingga diperoleh jaminan bahwa penerapan teknologi industri tidak memiliki resiko yang merugikan secara ekonomi, sosial, lingkungan, dan keselamatan.

Kata kunci: industri tekstil, konservasi energi, audit teknologi

ABSTRACT

During the Covid 19 pandemic, the textile industry, including the industries that were affected, suffered a heavy blow. In the midst of this downturn, there is still a gap for the textile industry to survive, namely by producing personal protective equipment (PPE) and cloth masks. Energy conservation in the textile industry can be achieved through the use of energy-efficient technology in the supply, both from non-renewable sources and implementing an energy-saving culture in energy users. The implementation of technology audits in the textile industry can increase the effectiveness of the textile industry management system. This paper aims to see the effect of the implementation of the Technology Audit in the textile industry on the management of the textile industry's technology assets as a whole in order to get the maximum benefit from the technology audit. This research method consists of identifying problems, collecting data, analyzing problems and drawing conclusions. The Industrial Technology Audit in textiles acts as a tool to evaluate the feasibility and suitability of a textile industry technology against the Textile Industry Technology Specification Standards in order to obtain a guarantee that the application of industrial technology does not pose an adverse economic, social, environmental and safety risk.

Keywords: textile industry, energy conservation, technology auditing

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berperan penting bagi perekonomian nasional dengan kontribusi ekspor sebesar 10,52 persen dari total ekspor nasional (terbesar kedua setelah ekspor minyak sawit) pada tahun 2018, serta menyerap tenaga kerja sebanyak 4,65 juta orang (Kementerian Perindustrian tahun 2019) atau sekitar 20 persen dari total tenaga kerja di industri pengolahan. Selain itu, industri tekstil merupakan salah satu industri prioritas dalam Making Indonesia 4.0 yang ditetapkan oleh Kementerian Perindustrian.¹ Saat pandemi Covid, pertumbuhan industri tekstil berkontraksi -1,24 persen pada triwulan I tahun 2020, sedangkan pada triwulan I tahun 2019 mampu tumbuh hingga 18,98 persen. Melihat peranan industri tekstil dalam industri di Indonesia sehingga penelitian ini akan fokus pada pengaruh Audit Teknologi terhadap Manajemen Industri Tekstil Perindustrian.¹

Menurut Undang-undang No.3 Tahun 2014 tentang Perindustrian, Salah satu langkah pemerintah dalam pengendalian pemanfaatan Teknologi Industri adalah melakukan kegiatan audit teknologi industri, dimana Audit Teknologi Industri adalah cara untuk melaksanakan identifikasi kekuatan dan kelemahan aset teknologi

(*tangible and intangible asset*) dalam rangka pelaksanaan manajemen teknologi sehingga manfaat teknologi dapat dirasakan sebagai faktor yang penting dalam meningkatkan mutu kehidupan umat manusia dan meningkatkan daya saing industri. Sedangkan Teknologi Industri adalah hasil pengembangan, perbaikan, invensi dan/atau inovasi dalam bentuk teknologi proses dan teknologi produk termasuk rancang bangun dan perkerayaan, metode dan/atau sistem yang diterapkan dalam kegiatan industri.²

Sesuai Perka BPPT 007 Tahun 2017, Audit Teknolgi adalah evaluasi secara sistematis dan objektif yang dilakukan oleh auditor teknolgi terhadap aser teknolggi untuk mencapai tujuan audit teknologi sehingga memberkan nilai tambah dan meningkatkan kinerja pihak yang diaudit atau pemilik kepentingan. Audit Teknologi tidak dimaksudkan untuk mencari kesalahan namun dimaksudkan untuk melakukan perbaikan; Mata rantai evaluasi dari prinsip “Rencana-Pelaksanaan-Evaluasi-Perbaikan; Aktifitas verifikasi : apakah teknologi yang diaudit sesuai dengan aturan, standar, prosedur yang berlaku; Aktifitas evaluasi : apakah teknologi yang daudit sesuai dengan rencana, perkiraan atau kebutuhan dan Aktifitas analisa : apakah teknologi yang diaudit sudah efektif atau efisien, apakah kekuatan dan kelemahan dari teknologi yang di audit selaras dengan konsep SNI ISO 50001, tentang Energi Management System.^{3,4,5}

Perbedaan antar negara maju dan berkembang bukan bergantung semata-mata dari tingkat kemajuan ekonomi namun juga dari tingkat kemajuan teknologi. Komponen teknologi yang akan menentukan hasil kinerja teknologi adalah : Techoware : Fasilitas fisik yang meningkatkan tenaga dan kemampuan manuasia dalam menghasilkan produk dan jasa; Humanware : sebagai manusia yang memiliki ketrampilan atau keahlian yang tanpanya technoware tidak berguna; Infoware : Dokumen tertulis maupun elektrolit yang memungkinkan; humanware untuk mendapat informasi dan belajar secara lebih cepat dan Orgaware : Prosedur dan struktur organisasi teimplementasi yang mengkoordinasikan sumber daya dan aktifitas dalam mencapai tujuan.^{5,6,7}

Salah satu tujuan dari Audit Teknologi adalah Performance Improvement yaitu . Audit Teknologi Industri yang dilakukan pada Industri PT.ABC mempunyai tujuan *Performance Improvement* untuk peningkatan daya saing yang mencakup pengukuran kinerja teknologi dalam rangka menemukan solusi permasalahan, peningkatan produktifitas untuk peningkatan revenue, peningkatan efektifitas & efisiensi proses produksi, peningkatan efisiensi biaya, energi dan bahan baku, peningkatan kualitas produk, identifikasi potensi potensial yang belum termanfaatkan seperti mencari inovasi yang berkaitan dengan pelanggan, distributor dan pemasok serta perbaikan yang berkelanjutan. Tahapan Pelaksanaan audit teknologi di PT. ABC, Tahap Pertama, yaitu Perencanaan (*Pre-audit*), Tahap kedua yaitu Pelaksanaan (*On Site Audit*) dan Tahap ketiga yaitu Tahap Analisa dan Pelaporan (*Post Audit*). Lingkup audit teknologi pada bagian Produksi yaitu pada proses *Dyeing* dan Fasilitas *utility* tetapi penelitian ini hanya fokus pada proses *dyeing*.⁵

Perencanaan Audit Teknologi di PT. ABC dimulai dengan Merumuskan landasan dan arah pelaksanaan Audit Teknologi kemudian mengidentifikasi objek spesifik Audit Teknologi yaitu mengidentifikasi profil bisnis auditee dan profil teknologi PT.ABC. Profil bisnis PT.ABC menjelaskan tentang identitas PT. ABC. Profil teknologi PT.ABC dapat dilihat seperti pada Tabel 1, langkah selanjutnya adalah merumuskan rencana teknis pelaksanaan Audit Teknologi yaitu menyusun rencana Audit Teknologi dan menyusun protokol Audit Teknologi.⁵

Tabel 1. Mapping Profil Teknologi PT.ABC

Proses	Elemen Kontrol	Parameter Kontrol	Risiko	KPI	Best Practise	Data	Auditor
Warping	Elemen yang terdapat pada proses	Parameter kontrol pada proses	Resiko yang terjadi jika tidak memenuhi	Indikator kegagalan pada proses	Target pada proses	Bukti pemenuhan pada proses	Nama auditor yang terlibat pada proses
<i>Dyeing</i>							
Sizing							
Utility							

Rencana teknis audit teknologi (*Technology Audit Plan*) dapat dijelaskan seperti pada Tabel 2. Untuk pelaksanaan audit teknologi di lapangan harus disusun protokol audit teknologi (*Technology Audit Protocol*) sebagai panduan bagi auditor.⁵

Tabel 2. Rencana Audit Teknologi PT.ABC

Tujuan	Ruang Lingkup	Tahapan & Aktifitas	Jadwal Pelaksanaan	Keluaran Audit	Auditor	
<i>Performance Improvement</i>	Sesuai proses <i>Dyeing</i> - Utility	Hari ke-1				
		Opening Meeting	08.00-09.00	Bukti fisik, bukti dokumen, bukti kesaksian/hasil wawancara dan bukti analisa.	Seluruh	
		Tour Pabrik	09.00-09.45		Seluruh	
		Rehat	09.45-10.00		Seluruh	
		Warping	10.00-16.00		A	
		<i>Dyeing</i>	10.00-16.00		B	
		Sizing	10.00-16.00		C	
		Utility	10.00-16.00		D	
		Hari ke-2				
		Rapat Tim	08.00-10.00		ABCD	
		Closing Meeting	10.00-12.00		Seluruh	

Pada pelaksanaan audit teknologi, auditor teknologi harus memperoleh bukti-bukti audit teknologi yang cukup handal dan relevan untuk mendukung penilaian dan kesimpulan. Bukti-bukti audit teknologi dapat berupa bukti fisik, bukti dokumen, bukti kesaksian/hasil wawancara dan bukti analisa.⁵

Para auditor teknologi bertugas untuk mendapatkan informasi sebanyak-banyaknya dari industri tekstil agar informasi atau data dapat dievaluasi sehingga memberikan analisa atau solusi dalam industri tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pelaksanaan Audit Teknologi terhadap manajemen industri tekstil.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan kepada proses *dyeing*, dimana definisi proses *dyeing* (pencelupan) adalah proses pewarnaan benang atau kain secara merata dan permanen.⁸ Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Observasi
2. Pengumpulan data, dengan menggunakan,
 - Data yang diperoleh secara langsung saat pelaksanaan auditor teknologi di PT. ABC melalui wawancara dengan operator, supervisor dan kepala bagian di lapangan.
 - Data yang tersusun berupa rekaman produksi yang diperoleh dari operator, supervisor dan kepala bagian di lapangan.
3. Analisa Data dilakukan dengan teknik pengolahan data yaitu menganalisis dan menyusun data kemudian diinterpretasikan dan dianalisis sehingga memberikan informasi yang jelas baik itu secara kualitatif maupun kuantitatif kepada perusahaan sebagai hasil penerapan improvement.
4. Kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Audit Teknologi tidak dimaksudkan untuk mencari kesalahan namun dimaksudkan untuk melakukan perbaikan. Para Auditor teknologi melakukan prinsip:

1. Rencana : Membuat rencana audit
 - Sebelum pelaksanaan Audit, auditor Teknologi harus memahami Profil Bisnis, Profil Teknologi PT. ABC dan Standar Spesifikasi Teknologi Industri Tekstil yang dijelaskan dalam Rencana Audit, sehingga dapat mengetahui :
 - Target / Sasaran Mutu / Key performance Indikator (KPI) pada proses *dyeing* yaitu warna sesuai artikel dan kerataan warna
 - Kriteria dan acuan yang digunakan pada audit teknologi di proses *dyeing* adalah :
 - SKKNI Melakukan Pencelupan Benang dengan Zat Warna Indigo Metoda Kontinyu Menggunakan Mesin Looptex, Kode Unit C.13FIN04.016.2
 - SNI 0560 : 2008 Kain kapas denim 100%
 - Persyaratan Pabrik : Nilai beda warna: 1 dan SD kerataan warna ≤ 1 *Dyeing*
 - Titik kritis atau resiko kegagalan pada proses *dyeing* adalah ketidaksesuaian dan ketidakrataan warna.
2. Pelaksanaan : Melaksanakan audit sesuai rencana audit

Para auditor teknologi melaksanakan audit sesuai jadwal dengan sikap independen, objektif dan menjaga kerahasiaan.

3. Evaluasi : Mengevaluasi hasil dari informasi yang telah didapatkan saat audit. Informasi dan data-data yang didapatkan harus dievaluasi kelayakan dan kesesuaiannya dengan teknologi industri tekstil terhadap standar spesifikasi teknologi industri di industri tekstil.
4. Perbaikan : Memberikan saran untuk perbaikan
Informasi yang didapatkan oleh para Auditor Teknologi pada proses *Dyeing* adalah :
 - 1) Instruksi kerja untuk masing-masing tahapan proses telah terdokumentasi dengan baik
Bukti bahwa dokumentasi untuk Instruksi Kerja di proses *dyeing* tersedia sehingga dapat dikatakan bahwa komponen teknologi infoware tersedia
 - 2) Personel pelaksana telah memahami dan menjalankan tugasnya sesuai dengan instruksi kerja
Bukti bahwa dalam kartu rekaman di proses *dyeing* personel menandatangani dokumen setelah pekerjaan selesai dikerjakan sehingga dapat dikatakan bahwa komponen teknologi humanware tersedia.
 - 3) Data resep pemakaian zat kimia, setting kondisi proses serta hasil proses untuk masing-masing tahapan pada unit *dyeing* telah terdokumentasi
Rekaman di proses *dyeing* terpelihara dengan baik sehingga dapat dikatakan infoware tersedia.
 - 4) Alat ukur timbangan bahan kimia (digital), timbangan beam, pressure gauge instalasi angin dan steam, counter winder mesin sizing, temperatur control pemasakan zat kimia, pH meter dan ORP meter telah terkalibrasi secara berkala
Bukti bahwa alat ukur pada proses *dyeing* terpelihara kualitasnya, technoware tersedia.
 - 5) Perawatan berkala (harian dan lain-lain) serta overhaul telah terjadwal
Bukti bahwa pemeliharaan mesin terpelihara dengan baik, sehingga dapat dikatakan infoware tersedia.
 - 6) Perusahaan telah memiliki target pencapaian untuk masing-masing Indikator Kinerja Proses (KPI) sesuai dengan yang telah ditetapkan
Bukti bahwa sasaran mutu pada proses telah ditetapkan, sehingga dapat dikatakan orgaware tersedia.
 - 7) Kejadian ketidaksesuaian telah terdokumentasi dan telah diambil tindakan perbaikan.
Bukti bahwa pengendalian ketidaksesuaian telah dijalankan dan rekamannya terpelihara dengan baik, sehingga dapat dikatakan infoware tersedia.
 - 8) Pada saat wawancara diketahui bahwa pada proses pencelupan sering kali terjadi variasi beda warna/ketidakrataan dalam 1 lot proses
Variasi beda warna/ketidakrataan dalam 1 lot proses kemungkinan disebabkan oleh:^{9,10,11}
 - a. Inkonsistensi pH larutan zat warna
 - b. Waktu celup
 - c. Konsentrasi zat warna
 - d. Temperatur larutan
 - e. Kadar hidrosulfit
 - f. Homogenitas larutanKomponen technoware harus ditingkatkan
 - 9) Pada bak *dyeing* ditemukan proses feeding (surfaktan, konsentrat zat warna dan air) yang berasal dari 2 saluran berbeda. Tidak dapat diketahui dengan pasti konsistensi homogenitas larutan dalam bak *dyeing*, acuan yang digunakan untuk kontrol adalah level permukaan larutan pencelupan yang diamati secara visual.^{12,13,14}
Acuan kontrol pada proses feeding kurang, disarankan menambah acuan kontrol untuk proses feeding. Komponen technoware harus ditingkatkan.
 - 10) Pengukuran viskositas larutan kanji dilakukan menggunakan viscoscup dan refractometer, keakuratan alat ukur masih terkendala secara manual dan faktor pencahayaan.
Disarankan melakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur yang lebih terjamin ketertelusurannya. Komponen technoware harus ditingkatkan.
 - 11) Tidak ada pemeriksaan secara berkala terhadap ketepatan posisi poros (centering) rol-rol maupun bantalan penghantar benang pada mesin-mesin di unit *dyeing*
Bukti bahwa tidak semua alat atau mesin dalam kondisi yang baik, tidak ada pengecekan berkala terhadap poros bantalan penghantar benang. Komponen technoware harus ditingkatkan.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan audit teknologi, manajemen mendapatkan potensi peningkatan, yaitu :

1. Menemukan solusi permasalahan tentang variasi beda warna/ketidakrataan dalam 1 lot yang dapat disebabkan oleh inkonsistensi pH larutan zat warna; waktu celup; konsentrasi zat warna; temperatur larutan; kadar hidrosulfit; homogenitas larutan sehingga komponen technoware harus ditingkatkan. Penyebab-penyebab tersebut ditelusuri agar peningkatan technoware dapat dipenuhi oleh manajemen.

2. Manajemen melihat ada potensi peningkatan pada proses *dyeing* disebabkan acuan kontrol di proses feeding *dyeing* kurang, sehingga diperlukan penambahan acuan kontrol untuk proses feeding agar terjadi peningkatan pada komponen technoware pada proses feeding *dyeing*.
3. Manajemen melihat ada potensi peningkatan kualitas produk, bukti bahwa tidak semua alat atau mesin dalam kondisi yang baik, tidak ada pengecekan berkala terhadap poros bantalan penghantar benang. PT. ABC mempunyai alat ukur durometer tetapi tidak termasuk dalam daftar alat ukur sehingga durometer tidak pernah terkalibrasi padahal durometer tersebut digunakan pada semua bantalan penghantar benang dan kain pada proses *dyeing* dan proses lainnya seperti *pre-treatment-dyeing-sizing*. Dapat dikatakan bantalan penghantar adalah titik kritis untuk semua proses sehingga alat tersebut harus dalam kondisi baik agar dapat mencapai kualitas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sirait, RA., Syafri, RA. Analisis Strategi Menyelamatkan Industri Tekstil dalam Negeri. Buletin APBN. P8. Vol.V.Ed.10, Juni 2020.
2. Undang-Undang No.3 tahun 2014 Tentang Perindustrian.
3. Badan standardisasi Nasional, SNI ISO 50001:2018 – Sistem Manajemen Energi - Persyaratan dengan Pedoman Penggunaan, 2018
4. Ridwan, T.,Perancangan Sistem Manajemen Energi pada Industri Manufaktur Berdasarkan ISO 50001:2011, Operation excellence, 2020, 12(11):88-103.
5. Perka BPPT 007 Tahun 2017
6. Fauzi, I.,Design of Measurements For Evaluating Readiness of Technoware To Meet The Required standard of Products, Institut Technology Bandung, 2017
7. Islam, S., Perancangan Model pengukuran Tingkat Kesiapan Technoware dan Humanware Laboratorium Dalam memenuhiPersyaratan SNI ISO/IEC 17025, Master Thesis, Institut Teknologi Bandung, 2017.
8. Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia. Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 138 Tahun 2016 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Kategori Industri Pengolahan golongan Pokok Industri Tekstil Bidang Penyempurnaan Tekstil. 2016
9. Wibi Sana,A.,Zubaidi., Aplikasi Surfaktan Minyak Sawit Untuk Proses Pemasakan Pengelantangan dan Pencelupan Tekstil, Arena Tekstil Vol.32 No.1. 2017, 41 – 50.
10. Rosyidai,A.,Zulfiya,A., Pewarnaan Bahan Tekstil dengan Menggunakan Ekstrak Kayu Nangka dan Teknik Pewarnaannya Untuk Mendapatkan Hasil yang Optimal, Jurnal Rekayasa Proses, Vol.7,No.2,2013
11. Kuniatin,Y.,dkk. Pengaruh Konsentrasi Zat warna Reaktif dan Waktu Celup pada Pencelupa Benang 100% Kapas Terhadap Ketuaan Warna. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Teknik, Vol 1, Nomor 1 2020.
12. Hakiim, A.,dkk,. Pengembangan Potensi Indigofera Dengan proses Kombinasi Fermentasi Aerob-Anaerob Sebagai Zat Warna Alami Batik. Journal of Chemical Process engineering Vol 03 No.02, November-2018, 2655-2957.
13. Setiati, R.,dkk. Hasil studi laboratorium penentuan Karakteristik Alamiah Surfaktan Natrium Lignosulfonat Dari Ampas Tebu Sebagai Fluida Injeksi Di Reservoir Minyak. Jurnal penelitian dan karya Ilmiah lembaga penelitian Universitas Trisakti Vo. 3, No.1 Januari 2018, ISSN 9p); 0853-7720, ISSN € : 2541-4275.
14. Kasipah, C., dkk. Peningkatan kemampuan Pencelupan Kain Kapas Terhadap Zat warna Reaktif Melalui proses Katonisasi. Arena Tekstil Voil. 30 No. 2, Desember 2015: 55-56.

PERANCANGAN PROSEDUR, PENGENDALIAN DOKUMEN, DAN AUDIT MUTU INTERNAL ISO 9001 : 2015 SECARA DIGITAL PADA PERUSAHAAN TEKSTIL DENGAN METODE SIX SIGMA

DIGITAL DESIGN OF PROCEDURE, DOCUMENT CONTROL, AND INTERNAL QUALITY AUDIT ISO 9001: 2015 FOR TEXTILE COMPANIES WITH SIX SIGMA METHOD

Iwan Satriyo Nugroho, Ahmad M. Ryad, Noneng Nurhayani, Iyan Sofyan

Universitas Islam Nusantara
Jl. Soekarno Hatta 530, Telp. (022) 7509656, Fax. (022) 7509656
E-mail: iwansatriyo12@gmail.com

ABSTRAK

Perusahaan tekstil berupaya untuk terus meningkatkan kualitas produknya guna memenuhi kualitas pasar dan mencapai kepuasan konsumen bagi pengguna produk. Produk tekstil yang dihasilkan oleh perusahaan tekstil selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri. Hal tersebut menjadikan prasyarat untuk proses produksi dan produk yang memenuhi standar internasional ISO 9001:2015 semakin dibutuhkan. Penerapan standar kualitas tersebut perlu dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dengan cepat dan mudah diimplementasikan secara bertahap berdasarkan metode perbaikan berkelanjutan *Six Sigma* dengan bantuan sistem digitalisasi. Penerapan dan filosofi fundamental dari Manajemen Mutu juga perlu dipahami. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu perusahaan dalam merancang Manajemen Mutu berbasis ISO 9001:2015. Desain tersebut memenuhi prosedur, pengendalian dokumen digital. Penelitian ini memberikan gambaran tentang penerapan ISO 9001:2015 pada perusahaan tekstil. Penelitian ini memberikan gambaran tentang rancangan prosedur dan pengendalian dokumen digital serta sistem audit mutu pada perusahaan manufaktur tekstil. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Penelitian ini dimulai pada Februari 2020 namun karena adanya pandemi dan berlakunya PSBB maka penelitian dapat dilanjutkan kembali pada Juli - Agustus 2020 di PT. XYZ di Kabupaten Bandung. Penelitian dan kajian ini mampu menghasilkan filosofi dasar yang mudah dipahami oleh kepala pabrik, penyelia, kepala unit, kepala bagian, kepala *shift*, kepala gudang, hingga operator. Penyusunan Prosedur ISO, kontrol dokumen dan sistem audit berkelanjutan secara digital harus sesuai standar ISO 9001: 2015 menuju perbaikan berkelanjutan sesuai dengan metode ilmiah *Six Sigma*.

Kata kunci: ISO 9001: 2015, Sistem Digital, *Six Sigma*

ABSTRACT

Textile companies strive to continue to improve the quality of their products in order to meet market quality and achieve consumer satisfaction for product users. Textile products produced by textile companies in addition to meeting domestic needs as well as foreign countries. This makes the prerequisite for the production process and products that meet the international standard ISO 9001: 2015 is increasingly needed. The application of these quality standards needs to be designed in such a way that it can be quickly and easily gradually implemented based on the Six Sigma continuous improvement method with the help of system digitization. The application and fundamental philosophy of Quality management also need to be understood. The purpose of this study is to assist companies in designing Quality Management based on ISO 9001:2015. The design fulfills procedures, digital document control. This study provides a description of the application of ISO 9001:2015 in textile companies. This study provides an overview of the design of procedures and digital document control and quality audit systems in textile manufacturing companies. The research method used is descriptive research using primary data and secondary data. This research was started in February 2020 but due to the pandemic and the enactment of the PSBB, research could be continued again from July - August 2020 at PT. XYZ in Bandung Regency. This research and study is able to produce a fundamental philosophy that is easily understood by Plant managers, Supervisors, Group Heads, Section Heads, Shift Heads, Warehouse Heads to Operators. Arrangement of an ISO procedure, Document Control and a digital continuous audit system according to ISO 9001: 2015 standards towards Continuous Improvement according to the Six Sigma scientific method.

Keywords: ISO 9001:2015, Digital System, *Sig Sigma*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Menurut Kepala Balai Besar Tekstil Bapak Wibowo Dwi Hartoto tahun 2019, permintaan tekstil fungsional secara global menunjukkan perkembangan pesat pada kurun waktu 2016-2017 dimana permintaan dunia dapat mencapai 7-9 persen. Menurut Kepala Pusat Penelitian dan pengembangan Industri Kimia, Farmasi, Tekstil, Logam Mesin dan Alat Transportasi dan Elektronika Kementerian Perindustrian Bapak Sony Sulaksono, tantangan era revolusi industri adalah menyediakan sumber daya manusia. Kementerian perindustrian sendiri mendorong lahirnya SDM yang bermutu lewat pembentukan Badan Pengembangan SDM Industri. Kurikulum pengajaran juga mulai diubah menjadi berbasis teknologi 4.0 dan siap mengantisipasi teknologi yang akan datang.¹² Berdasarkan pemikiran dari para pimpinan dan pakar bidang tekstil diatas perlu dibangun sebuah industri tekstil yang memiliki standarisasi internasional ISO 9001:2015 sehingga semakin kuat menembus pasar global.

Menurut Ann. W Phillips, 2015:ISO 9001 adalah standarisasi dunia untuk bisnis yang bertujuan untuk menjadi sejajar setara dalam hal manajemen kualitas dunia. Standarisasi ini memiliki tujuan untuk menjaga kualitas melalui kontrol proses dan operasional standar dalam pembuatan produk dan pemberian layanan. Standarisasi dibuat agar kepuasan pelanggan dapat tercipta dan dipertahankan. Standar ini berlaku untuk hampir semua sektor dan produk industri dan layanan yang dilakukan hampir di seluruh dunia.¹¹ Menurut Milton P. Dentch, 2017, untuk Standarisasi (ISO) memiliki tujuan untuk meningkatkan standar manajemen yang dilakukan perbaikan setiap 7 tahun. Selama periode 28 tahun dari tahun 1987 sampai tahun 2015, ISO 9001 berkembang melalui empat revisi, yaitu: ISO 9001:1994, ISO 9001:2000, ISO 9001:2008 dan ISO 9001:2015- yang merupakan versi terbaru yang dirilis pada bulan Oktober Tahun 2015.⁵ Tinjauan singkat dari revisi sebelumnya dari ISO 9001 terjadi transformasi secara revolusioner.

Elemen utama dari ISO 9001 adalah: a. Tanggung Jawab Manajemen, b. Sistem Mutu, c. Tinjauan kontrak, d. Pengendalian desain, e. Pengendalian dokumen dan data, f. Pembelian, g. Pengendalian Produk yang disuplai pelanggan, h. Identifikasi produk dan ketelusuran, i. Pengendalian proses, j. Inspeksi dan pengujian, k. Pengendalian peralatan inspeksi, pengukuran, dan tujuan, l. Status pemeriksaan dan pengujian, m. Pengendalian produk yang tidak sesuai, n. Tindakan korektif dan pencegahan, o. Penanganan, penyimpanan, pengawetan dan pengiriman, p. Audit kualitas internal, q. Pelatihan, r. Pelayanan, dan s. Teknik Statistik.

Di sisi lain, ada juga potensi kendala yang dihadapi organisasi yang mungkin dihadapi dalam mengejar sertifikasi ISO 9001:2015, yaitu:⁶

1. Pemahaman yang tidak memadai tentang prinsip-prinsip ISO 9000. Penggunaan sumber daya menuju sertifikasi ISO 9000 dapat diabaikan jika pemilik bisnis memiliki pemahaman yang tidak lengkap tentang proses dan persyaratan yang terkait dengannya; dan
2. Proses yang membutuhkan waktu lama. Biasanya dibutuhkan waktu berbulan-bulan untuk menyelesaikan proses sertifikasi ISO 9000
3. Proses yang membutuhkan keterlibatan seluruh manajemen dan pimpinan operasional di semua lini, sementara terdapat perbedaan pemahaman, kemampuan antar mereka yang terlibat. Batasan manajemen sistem harus diatur dan sekali lagi, prosedur harus diatur dengan benar dan didokumentasikan.ada prosedur yang tepat.³

Pada revisi 2015, penerapan ISO memiliki struktur yang sama pada *Quality management systems* (ISO 9001:2015) and *Environmental management systems* (ISO 14001:2015):¹⁰

- | | |
|---|---|
| 1. Ruang Lingkup (<i>Scope</i>) | 6. Perencanaan (<i>Planning</i>) |
| 2. Referensi Normatif (<i>Normative references</i>) | 7. Dukungan (<i>Support</i>) |
| 3. Istilah dan Definisi (<i>Terms and definitions</i>) | 8. Operasi (<i>Operation</i>) |
| 4. Kontek Organisasi (<i>Context of the organization</i>) | 9. Evaluasi Kinerja (<i>Performance evaluation</i>) |
| 5. Kepemimpinan (<i>Leadership</i>) | 10. Perbaikan (<i>Improvement</i>) |

Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membantu perusahaan dalam merancang Manajemen Mutu berdasarkan ISO 9001:2015. Perancangan memenuhi Prosedur, Pengendalian dokumen secara digital, untuk mengatasi kesulitan pemahaman yang tidak memadai, proses penyusunan yang lama dan sulit, dan ketidakseragaman kompetensi yang mendukung pelaksanaan, pengendalian dan audit ISO 9001:2015. Pada penelitian ini memberikan gambaran mengenai penerapan ISO 9001:2015 di perusahaan tekstil. Penelitian ini memberikan gambaran perancangan penyusunan prosedur dan digital dokumen kontrol serta sistem audit kualitas di perusahaan manufaktur tekstil.

Ruang lingkup penelitian hanya pada pelaksanaan operasional PT. XYZ dan pada lingkup 5 unit kerja. Penelitian dibatasi pada perancangan dokumen secara digital dengan sepenuhnya melihat kebutuhan perusahaan tekstil PT. XYZ.

Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Penelitian ini dimulai pada bulan Februari 2020 namun karena adanya pandemi dan pemberlakuan PSBB, penelitian baru dapat dijalankan kembali dari Bulan Juli - Agustus 2020 di PT. XYZ di Kabupaten Bandung.

Penelitian dan studi ini mampu menghasilkan sebuah filosofi mendasar yang mudah dipahami *Plant manager*, Supervisor, Kepala Grup, Kepala Seksi, Kepala *Shift*, Kepala gudang sampai operator. Tersusunnya sebuah prosedur ISO, *document control* dan sistem audit berkelanjutan secara digital sesuai standar ISO 9001:2015 menuju perbaikan berkelanjutan (*Continuous Improvement*) sesuai metode keilmuan *Six Sigma*.

Alat

Alat berkualitas yang saat ini digunakan di banyak organisasi dalam melaksanakan proses perencanaan strategis, adalah dengan melakukan analisa kekuatan-kelemahan-peluang-peluang, ancaman (SWOT), *Six Sigma*, dan program *Lean Manufacturing*. Hasil dari analisis harus digunakan dalam menetapkan tujuan dan perencanaan untuk mengurangi risiko. Dimana *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dapat digunakan selanjutnya. Penerapan standar mutu tersebut perlu dirancang sedemikian rupa agar dapat dengan cepat dan mudah secara bertahap diterapkan berdasarkan metode *Six Sigma continuous Improvement* dengan bantuan digitalisasi sistem. Penerapan dan filosofi mendasar manajemen mutu juga perlu dipahami dan diterapkan.

Hasil

Standar ISO 9001 ditujukan untuk memuaskan pelanggan dengan memenuhi persyaratannya sesuai dengan peraturan internasional dan nasional yang berlaku. Hal ini dilaksanakan pada perusahaan tekstil PT. XYZ melalui empat prinsip, yaitu:⁹

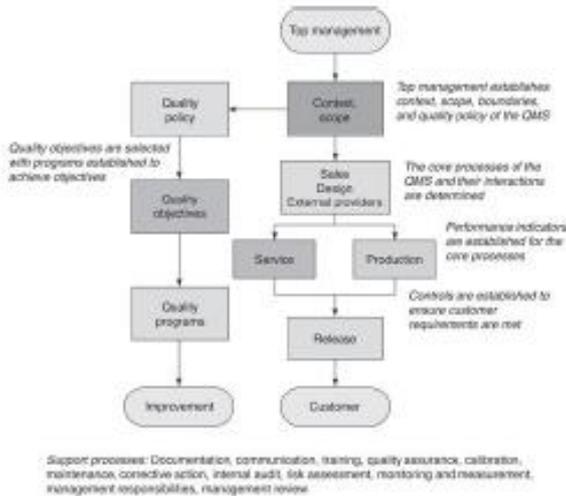
1. sasaran standar adalah untuk memulai QMS yang bertindak secara konsisten memenuhi persyaratan pelanggan serta persyaratan peraturan yang berlaku,
2. persyaratan standar ini memulai harmonisasi antara SMM organisasi dan persyaratan peraturan yang berlaku,
3. persyaratan yang disarankan dalam Standar ISO 9001 memfasilitasi peningkatan proses yang termasuk dalam QMS dan jaminan kesesuaian dengan persyaratan pelanggan atau peraturan, dan
4. persyaratan yang disarankan dalam Standar ISO 9001 berlaku untuk semua jenis organisasi terlepas dari ukuran atau jenis, jenis pelanggan mereka, dan jenis produk atau layanan yang mereka sediakan.

Harmonisasi antara sistem manajemen mutu organisasi dan persyaratan peraturan yang berlaku berarti menggabungkan persyaratan internasional, nasional, lokal, dan peraturan yang berlaku dan relevan ke dalam konsensus dengan aspek QMS, misalnya perencanaan dan pelaksanaan proses dan aktivitas, desain dokumentasi, dan kualifikasi pelatihan sumber daya manusia serta kemampuan menyediakan produk yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Standar ini juga disebut sebagai ISO 9001:2015, yang didasarkan pada delapan prinsip manajemen mutu mencoba diterapkan pada perusahaan tekstil PT. XYZ, yaitu:

- a. Fokus pada pelanggan (*Focus on customers*) - Organisasi perlu memahami kebutuhan pelanggan, penuhi kebutuhan mereka dan pada akhirnya melebihi harapan kebutuhan mereka ;
- b. Membangun kepemimpinan (*Provide leadership*) - Pemimpin harus mengatur jalan di mana organisasi sedang menuju. Mereka harus membangun lingkungan yang mau mendorong orang untuk mencapai tujuan dan sasaran organisasi;
- c. Libatkan orang (*Involve people*) - Organisasi harus mendorong orang-orangnya untuk menggunakan kemampuan mereka dan melibatkan mereka di semua tingkatan sesuai kebutuhan organisasi;
- d. Gunakan pendekatan proses (*Use a process approach*) - Memiliki cara yang lebih efisien dan efektif tentang pendekatan tentang bagaimana proses dijalankan secara efektif dan efisien dan berproduksi optimal pasti akan mendorong bisnis lebih berkinerja;
- e. Ambil pendekatan sistem (*Take a systems approach*) - Adanya kebutuhan untuk mengidentifikasi hal/subsistem yang saling terkait dengan memproses dan memperlakukannya sebagai sistem;
- f. Mendorong peningkatan berkelanjutan (*Encourage continual improvement*) - Organisasi harus seperti itu berkomitmen untuk terus meningkatkan kinerja secara keseluruhan;
- g. Dapatkan fakta sebelum memutuskan (*Get the facts before deciding*) - Setiap keputusan harus diambil disertai informasi dan data faktual; dan
- h. Bekerja dengan pemasok (*Work with suppliers*) - Organisasi harus membangun hubungan kerja yang baik dengan pemasok mereka untuk membantu menambah nilai pelanggan.

Sistem Manajemen Mutu perusahaan tekstil PT. XYZ sebagai suatu proses. Standar yang diakui secara internasional untuk manajemen mutu, ISO 9001 dibangun di atas pendekatan *plan-do-check-act* (PDCA) yang bekerja sebagai berikut:

- a. Rencana (*Plan*): Manajemen puncak menetapkan konteks, ruang lingkup, batasan, dan kebijakan mutu QMS,
 - b. Lakukan (*Do*): Proses produksi dan layanan diimplementasikan dengan kontrol yang dipertahankan, memastikan persyaratan pelanggan terpenuhi. Proses pendukung proses inti diimplementasikan.
 - c. Periksa (*Check*): QMS dipantau dan diaudit untuk mengukur kinerja terhadap tujuan organisasi dan persyaratan pelanggan. Kinerja dan hasil dari QMS dilaporkan ke manajemen puncak.
 - d. Bertindak (*Action*): Tindakan dimulai untuk memperbaiki kekurangan dan meningkatkan kinerja kualitas sebagai ditunjukkan dengan pemantauan dan pengukuran hasil SMM. Sumber daya dan pelatihan karyawan disediakan sebagaimana mestinya untuk memastikan peningkatan SMM.
- Saat menetapkan rencana dan tindakan untuk mendukung SMM, ada baiknya untuk melihat SMM sebagai proses dengan dua keluaran yang diinginkan: peningkatan kinerja dan kepuasan pelanggan.



(Milton P. Dentch, 2015)

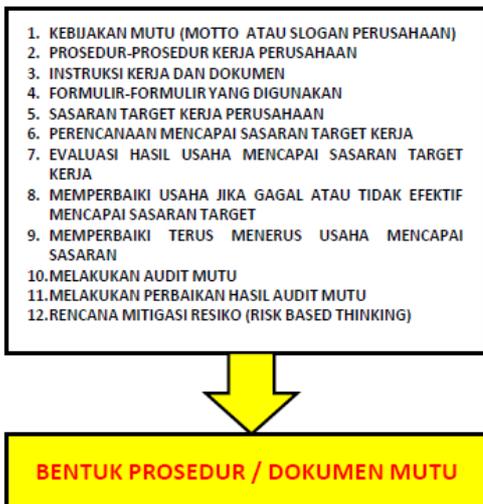
Gambar 1. Prosedur Mutu

Pada PT XYZ dalam mengembangkan sebuah perancangan sistem perlu urutan langkah yang terdiri dari 10 langkah yang dikelompokkan menjadi 3 tahapan. Tahapan pertama merupakan Tahapan persiapan, dilanjutkan dengan Tahapan definisi dan tahapan ketiga merupakan tahapan solusi

Dengan persyaratan ini, perusahaan tekstil PT. XYZ harus berpikir bagaimana menciptakan tujuan kualitas perusahaan dan kemudian menyediakan pedoman pelaksanaannya dalam operasional perusahaan. Semua hal ini harus didokumentasikan dan dikomunikasikan dengan benar ke semua personil di perusahaan. Kemudian perusahaan harus mengevaluasi kebijakan yang mereka buat dan mereka harus menyoroti persyaratannya untuk memastikan bahwa hal tersebut dipatuhi. Batasan manajemen sistem harus diatur dan sekali lagi, prosedur harus diatur dengan benar dan didokumentasikan.ada prosedur yang tepat.

Berikut secara ringkas hasil brainstorming Training PT IDT yang diterapkan pada PT XYZ.⁷

BENTUK FISIK ISO 9001



Gambar 2. Bentuk Fisik ISO 9001⁷

BAGAIMAN MELAKSANAKAN ISO 9001



Gambar 3. Pelaksanaan ISO 9001

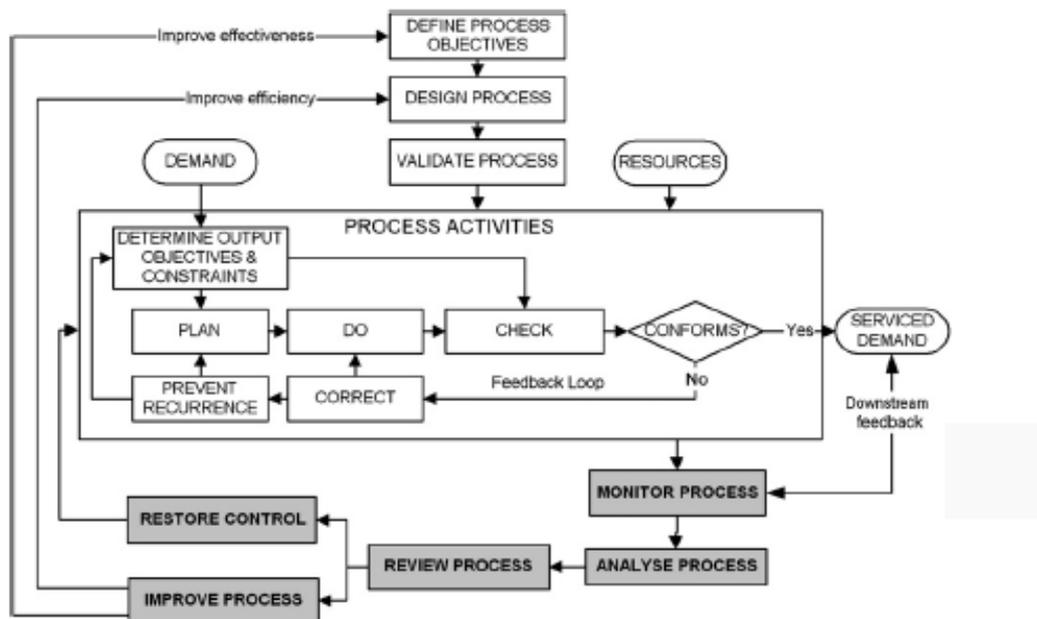
Dimana terdapat 2 konsep besar yaitu bentuk fisik ISO 9001 dan bagaimana melaksanakan ISO 9001 dimulai dari bentuk prosedur dokumen mutu sampai pada hasil.

Pengendalian dokumen dilaksanakan dengan penyeragaman dokumen dan cara mengisi dokumen yang kemudian disebut sebagai rekaman. Dokumen master diberi nomor dan rekaman juga dibedakan dan diberi kode khusus. Pengendalian dokumen juga dilaksanakan untuk memastikan pelaksanaan operasional perusahaan sesuai standar pada PT XYZ:

1. Pendekatan pada pencapaian, keberlanjutan, dan peningkatan kualitas.
2. Sesuai atay *comply* dengan ISO 9001 bagian 4 *Requirements on Quality Management System Development*
3. Sesuai atay *comply* dengan ISO 9001 bagian 5 *Requirements on Management Responsibility*
4. Sesuai atay *comply* dengan ISO 9001 bagian 6 *Requirements on Resource Management*
5. Sesuai atay *comply* dengan ISO 9001 bagian 7 *Requirements on Product Realization*
6. Sesuai atay *comply* dengan ISO 9001 bagian 8 *Requirements on Measurement, Analysis and Improvement*
7. Sesuai atay *comply* dengan *System Assessment Certification- Continuing Development*
8. Pengendalian dokumen *juga* menyangkut aspek melaksanakan pembaharuan dokumen mengikuti kondisi dan kebutuhan perusahaan. Setiap revisi dokumen dicatat dan disimpan dengan baik.

ISO 9001:2015 mendefinisikan audit sebagai sebuah proses yang sistematis, independen dan terdokumentasi untuk mendapatkan bukti-bukti audit atau penilaian dan mengevaluasinya secara obyektif untuk menentukan keberadaan kriteria audit yang dipenuhi. Tujuan utama audit ISO 9001:2015 adalah melaksanakan verifikasi bahwa perusahaan memiliki Quality Management System yang sesuai dengan persyaratan yang tercantum pada ISO 9001:2015. Audit dalam perusahaan harus dilakukan untuk memastikan bahwa semuanya akan berjalan lancar dan selalu dilaksanakan berkelanjutan sebagaimana mestinya. Jika perusahaan memang memenuhi persyaratan, kemudian perusahaan akan disertifikasi ISO 9001 oleh lembaga sertifikasi yang terakreditasi.¹¹

Sistem audit dapat dijelaskan melalui diagram berikut:



Gambar 4. Diagram Sistem Audit

Pada gambar tersebut jelas terlihat bagaimanadasar audit tetap pada PDCA dengan melihat konsep Kebutuhan dan keinginan, Proses dan sumber daya yang ada.⁸

METODE

Kerangka berpikir yang dilaksanakan yaitu dengan model pemecahan masalah yang digunakan dalam penelitian dengan kerangka berpikir yang merupakan gambaran keterkaitan dalam bentuk formal antara variabel-variabel yang ada dalam sistem, yang dirumuskan berkenaan dengan adanya permasalahan kesenjangan antara keadaan ideal dengan keadaan yang ada. Kesenjangan (*gap*) yang terjadi antara ketentuan-ketentuan yang disyaratkan dalam klausul-klausul sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 dengan kondisi aktual yang berlaku di PT. XYZ. Dari *gap* yang diperoleh, dilakukan analisis mengenai sistem manajemen PT.

XYZ dalam hubungannya dengan standar sistem manajemen mutu ISO 9001:2015, beserta identifikasi kekurangan-kekurangan beserta hal-hal yang perlu diperbaiki atau dilengkapi. Kemudian dilakukan perancangan sistem dokumentasi mutu yang sesuai dengan persyaratan ISO 9001:2015 sebagai usulan perbaikan terhadap sistem manajemen mutu di PT. XYZ.

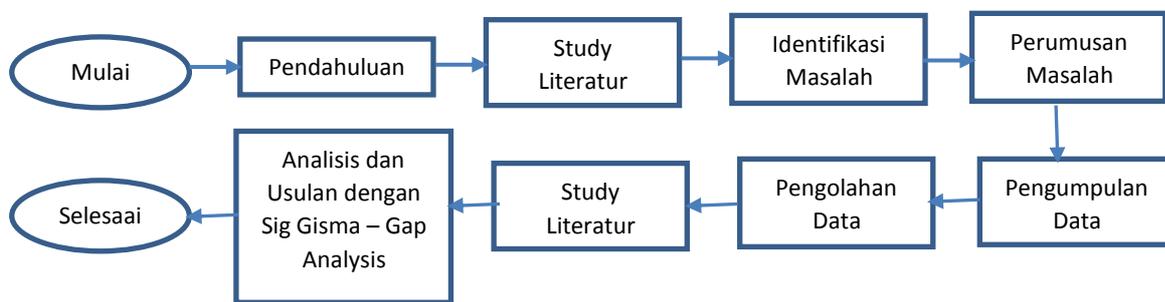
Penelitian ini menggunakan metode *Gap Analysis* yang merupakan suatu metode pengukuran untuk mengetahui kesenjangan (*gap*) antara kinerja suatu variabel dengan harapan konsumen terhadap variabel tersebut. *Gap Analysis* itu sendiri merupakan bagian dari metode IPA (*Importance-Performance Analysis*).

Gap Analysis digunakan sebagai alat evaluasi bisnis yang menitikberatkan pada kesenjangan kinerja perusahaan saat ini dengan kinerja yang sudah ditargetkan sebelumnya.

Teknik Pengumpulan data yang dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

1. kuesioner evaluasi sistem manajemen mutu ISO 9001:2015,
2. Wawancara dengan pihak-pihak yang berkaitan,
3. Pengumpulan dokumen-dokumen PT. XYZ yang berkaitan dengan penelitian ini, dan
4. Pengamatan langsung di PT. XYZ

Untuk lebih mempermudah dalam penelitian ini, maka dibuatlah proses/langkah-langkah penelitian. Proses/langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari:



Gambar 5. Diagram Alir Proses Pemecahan Masalah

HASIL DAN PEMBAHASAN

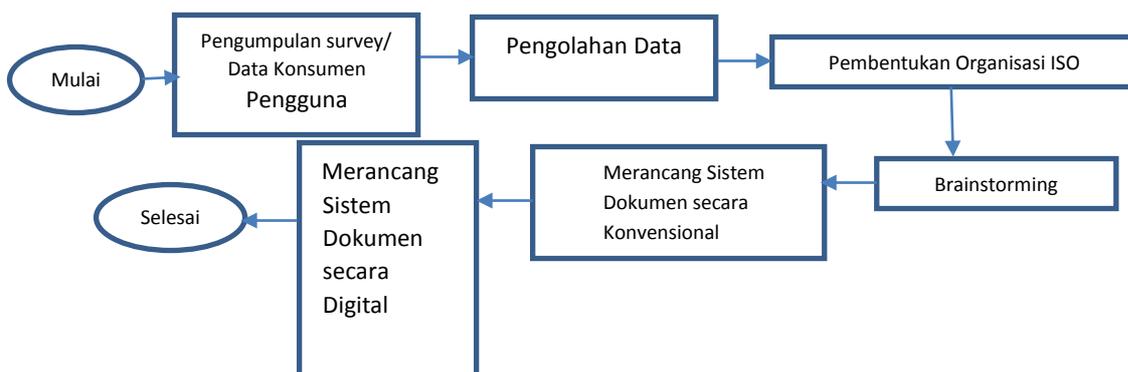
Pengumpulan data ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi aktual sistem manajemen mutu PT. XYZ, sebagai panduan dalam melakukan perancangan sistem dokumentasi mutu berdasarkan standar sistem manajemen mutu ISO 9001:2015.

Pada tahap melakukan pengolahan data yang dilakukan dengan penataan, pengaturan, dan pengorganisasian data-data dari kuesioner yang telah didapatkan, untuk kemudian dilihat kelemahan-kelemahan dan kekurangan-kekurangan dari sistem manajemen mutu yang telah diterapkan PT. XYZ.

Analisis data dilakukan dengan mengambil bahasan utama *gap analysis* antara sistem manajemen mutu aktual di PT. XYZ dengan standar yang disyaratkan oleh sistem manajemen mutu ISO 9001:2015. Dari sini, akan diidentifikasi kekurangan-kekurangan dan hal-hal yang perlu diperbaiki atau ditambahkan dalam penyusunan sistem penjaminan mutu PT. XYZ, yang difokuskan pada dokumentasi mutu PT. XYZ.

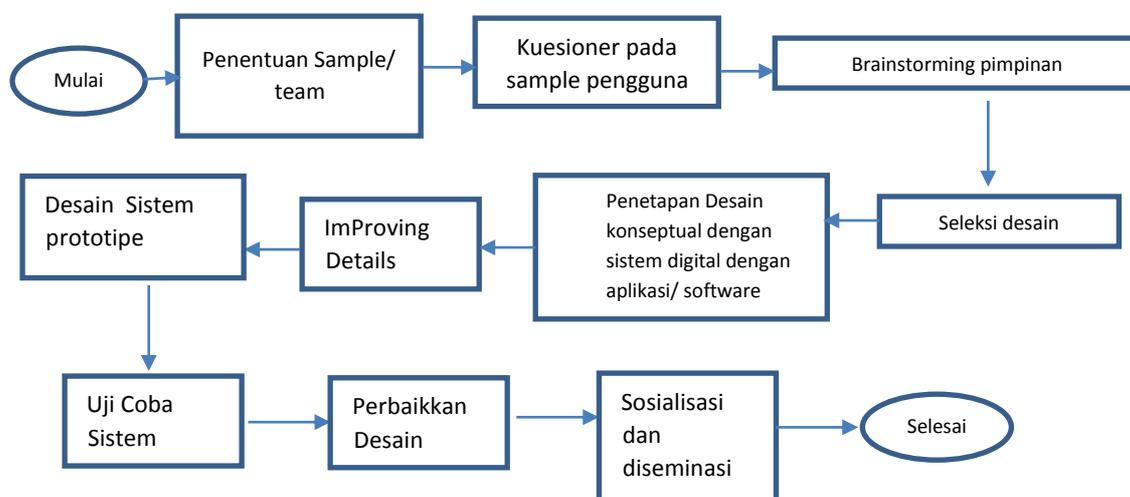
Usulan perbaikan yang diajukan berupa prosedur-prosedur operasi wajib yang mengacu kepada sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 dengan membuat penyesuaian-penyesuaian terhadap kondisi PT. XYZ yang disertai dengan form-form yang terkait. Selain itu, disiapkan juga pedoman mutu sebagai panduan mutu bagi PT. XYZ.

Analisis dan usulan Rancangan ISO Digital adalah sebagai berikut:



Gambar 6 . Analisis dan usulan Rancangan ISO Digital

Pada diagram diatas jelas bahwa proses dimulai dengan pengumpulan survey, diikuti pembentukan organisasi yang bertanggung jawab , perwakilan setiap organisasi yang bertanggung jawab mengadakan brain storming dilanjutkan dengan melaksanakan perancangan sistem dokumen dan penyusunan dokumen digital. Pada tahapan pelaksanaan yang dilaksanakan sepanjang bulan Mei – Juni 2019 didapat struktur pelaksanaan desain sistem sebagai berikut :



Gambar 7 . Tahapan Desain Sistem

Pengumpulan data melalui 2 cara yaitu kuesioner dan aktivitas *Brainstorming* yang diajukan, sifatnya hanyalah menggali informasi tentang kondisi sistem manajemen mutu yang ada pada saat ini, bukan merupakan sampling data. Jadi jumlah responden yang mengisi kuesioner ini tidak dibatasi kedalam jumlah minimal atau maksimal tertentu seperti uji sampling. Kuesioner penelitian ini diajukan kepada pihak-pihak yang dianggap paling yang mengetahui tentang kondisi sistem manajemen mutu PT. XYZ.

Untuk menjamin kebenaran informasi yang diperoleh, maka dilakukan verifikasi terhadap data-data yang diperoleh dari hasil kuesioner, melalui pengamatan langsung, wawancara, dan melihat bukti-bukti berupa dokumen terkait.

Pada *Brainstorming* dipilih team personil yang berada di posisi manajemen atau pernah mengikuti pelatihan sistem penjaminan mutu produksi atau produk. Dipilihlah 10 persen dari populasi sesuai pendapat Gay, yaitu sejumlah 13 orang. Ke- 13 orang yang terpilih dengan kriteria diatas terdiri dari : 1 orang *Plant Manager*, 3 orang Kepala *Shift*, 6 orang Kepala Regu, 1 orang kepala QC, 1 orang Staf QC, dan 1 orang Kepala Mekanik. Pertama kali diambil faktor-faktor yang menentukan desain dan pembobotannya. Dari hasil *brainstorming* didapatlah nilai sbb :

Tabel 1 . Pembobotan Sistem Penjaminan Mutu berdasar ISO 9001:2015

Penilaian	Kemudahan Pengisian	Kemudahan Akses	Kemudahan Penyusunan dan Revisi Dokumen	Waktu Pembuatan Desain	Waktu Pengisian	Biaya	Total Penilaian
Bobot A	15	15	15	20	20	15	100

Menurut pendapat mitra jumlah sampel yang dapat diambil adalah:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

dimana,

n = Ukuran sample, N = Ukuran Populasi, e = Persen kelonggaran ketidaktelitian

Menurut pendapat Gay, ukuran minimum sampel yang dapat diterima berdasarkan pada desain penelitian yang digunakan. Pada metode deskriptif minimal 10% dari populasi. Jumlah populasi karyawan PT XYZ dalah 130 orang, dengan maksimalisasi sampel diambil sampel sebesar 20% atau 26 orang. Hasil kuesioner dari sampel 26 orang adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan 2 Metode dalam Penjaminan Mutu Berdasar ISO 9001:2015

No Metode	Penilaian	Kemudahan Pengisian	Kemudahan Akses	Kemudahan Penyusunan dan Revisi Dokumen	Waktu Pembuatan Desain	Waktu Pengisian	Biaya
	Bobot (A)	15	15	15	20	20	15
1	Manual	Poin (B)	94	84	88	74	94
	AXB	1410	1260	1320	1480	1480	6950
2	Digital	Poin (B)	96	110	89	74	96
	AXB	1440	1650	1335	1480	1480	735

Dari penilaian bobot pada Tabel 2 tersebut dianalisis dan dipilihlah metode digital untuk penjaminan mutu perusahaan.

Dari aspek desain yang diinginkan pengguna terlihat bahwa faktor kemudahan pengisian, kemudahan penyusunan dokumen dan kemudahan dalam melakukan revisi dokumen mutu menjadi pertimbangan penting dalam penyusunan, pengendalian dan pengelolaan dokumen mutu. Kegiatan pengambilan data pengguna sesuai kuesioner dilanjutkan dengan brainstorming kembali. *Brainstorming* kedua untuk menentukan: penetapan desain terpilih, *improving details*, menyusun fitur dan urutan kerja dalam kegiatan penyusunan dokumen, pengendalian rekaman dan sistem audit mutu. Teknik pengolahan kuesioner yaitu kuesioner dalam penelitian ini dirancang dengan mengacu pada daftar pertanyaan (*Audit Checklist*) untuk ISO 9001:2015, dan berbagai sumber lainnya yang merujuk kepada persyaratan-persyaratan yang dinyatakan dalam klausul-klausul yang berkaitan pada standar sistem manajemen mutu ISO 9001:2015.

Tujuan dari kuesioner ini adalah untuk menilai *Gap* yang terjadi antara kondisi aktual sistem manajemen mutu yang diterapkan PT. XYZ dengan standar yang telah ditetapkan pada sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 dan adanya kuesioner untuk menilai persetujuan penggunaan sistem digital serta konsep ide yang diminta pengguna (*user*). Kuesioner ini berisi pertanyaan-pertanyaan dengan tiga alternatif jawaban (“ya”, “sebagian” dan “tidak”) yang harus dijawab responden berdasarkan kondisi aktual sistem manajemen mutu yang diterapkan PT. XYZ. Berdasarkan hasil kuesioner dan penelitian yang dilakukan di PT. XYZ didapatkan hasil:

- Kluasal Standar ISO 9001:2015 yang telah sesuai dan diterapkan = 1
- Kluasal Standar ISO 9001:2015 yang telah sebagian diterapkan = 13
- Klausal Standar ISO 9001:2015 yang belum diterapkan = 34

Persentase pemenuhan syarat standar manajemen mutu di PT. XYZ yang belum terpenuhi adalah sebesar:

$$100\% - \frac{Y+S}{Y+S+T} = 100\% - \frac{1+13}{1+13+34} = 84\%$$

Jadi, dapat disimpulkan seluruh aktivitas di PT. XYZ yang sesuai dengan persyaratan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015 adalah sebesar 16%. Organisasi perusahaan tekstil secara umum bahwa PT. XYZ telah mempunyai sistem manajemen mutu, tetapi sistem manajemen mutu yang ada di PT. XYZ belum berdasarkan persyaratan yang dinyatakan dalam sistem manajemen mutu ISO 9001:2015.

1. Direktur

Tugas dan Tanggung Jawab: a. Merencanakan strategi perusahaan dan melaksanakannya untuk mencapai tujuan perusahaan, b. Menciptakan suasana yang baik dalam perusahaan sehingga para karyawan dapat melaksanakan kewajibannya dengan baik, c. Memimpin, mendidik, mengarahkan dan mengawasi pelaksanaan rencana yang telah ditetapkan, d. Bertanggung jawab penuh atas kondisi dan kemajuan perusahaan.

Tanggung Jawab dalam Sistem ISO: Penanggung Jawab Utama, Pejabat pengesahan dokumen ISO

2. Plant Manager

Tugas dan Tanggung Jawab: a. Bertanggung jawab atas keseluruhan kegiatan perusahaan, b. Membuat laporan kegiatan perusahaan, c. Melaporkan kegiatan perusahaan kepada direktur utama, d. Melakukan evaluasi, e. Memberikan kekuasaan (mandat) kepada para manajer dan kepala bagian yang ditunjuk.

Tanggung Jawab di Sistem ISO: Koordinator Lapangan, Perumus Dokumen ISO

3. Kepala Regu

Tugas dan Tanggung Jawab: a. Mengatur dan mengontrol kegiatan produksi, b. Mengontrol kinerja operator, c. Mengontrol bahan baku, bahan setengah jadi, produk jadi. d. Mengontrol mesin-mesin produksi, e. Membimbing dan mengarahkan operator dalam mempersiapkan semua kegiatan produksi, f. Mengatur bahan baku proses produksi hingga produk jadi dengan ketentuan target yang telah ditentukan. Tanggung Jawab di Sistem ISO: Koordinator Lapangan, Perumus Dokumen ISO

4. Kepala Shift

Tugas Tanggung Jawab dan wewenang sama dengan kepala Regu, namun hanya apada ssat operasi shiftnya. Operasional terdiri dari 3 shift. Tanggung Jawab di Sistem ISO: Koordinator Lapangan, Perumus Dokumen ISO

5. Kepala Quality Control

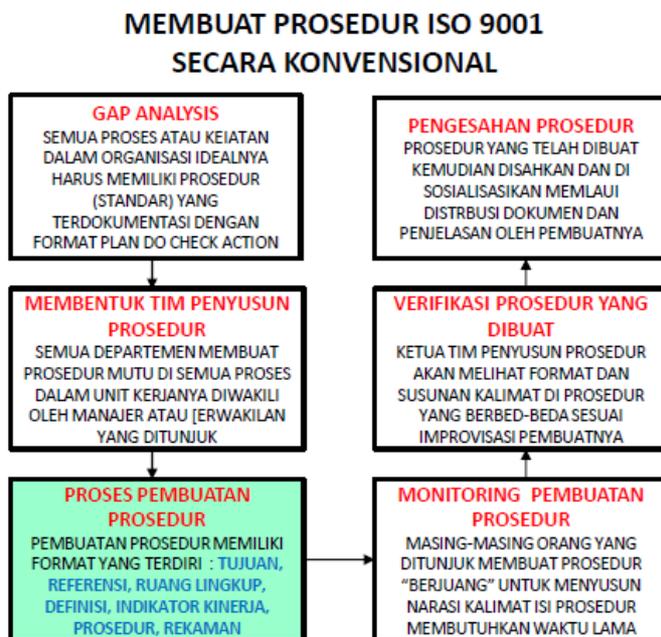
Tugas dan Tanggung Jawab: a. Mengatur dan mengontrol kegiatan inspeksi produk, b. Mencatat dan mendokumentasikan grade produk Tanggung Jawab di Sistem ISO: Koordinator Lapangan, Perumus Dokumen ISO

6. Teknisi

Tugas dan Tanggung Jawab: a. Melakukan perawatan rutin mesin produksi dan bangunan sesuai dengan jadwal yang berlaku di perusahaan, b. Membuat laporan *service & maintenance* mesin proses produksi dan bangunan, c. Memastikan ketersediaan alat & sparepart yang diperlukan. Tanggung Jawab di Sistem ISO: anggota Perumus Dokumen ISO

Berikut kegiatan merancang sistem dokumen secara konvensional menuju digital di PT. XYZ. Penetapan Desain konseptual dengan sistem digital dengan aplikasi/*software* sederhana dan mudah digunakan seluruh karyawan. Penerapan berikutnya merupakan hasil training dan *brainstorming* PT IDT dalam penerapan ke PT XYZ.

Berikut penerapan singkat secara teknis di lapangan mengenai bagaimana membuat prosedur ISO 9001 secara konvensional dan teknik membuat prosedur mutu ISO 9001.

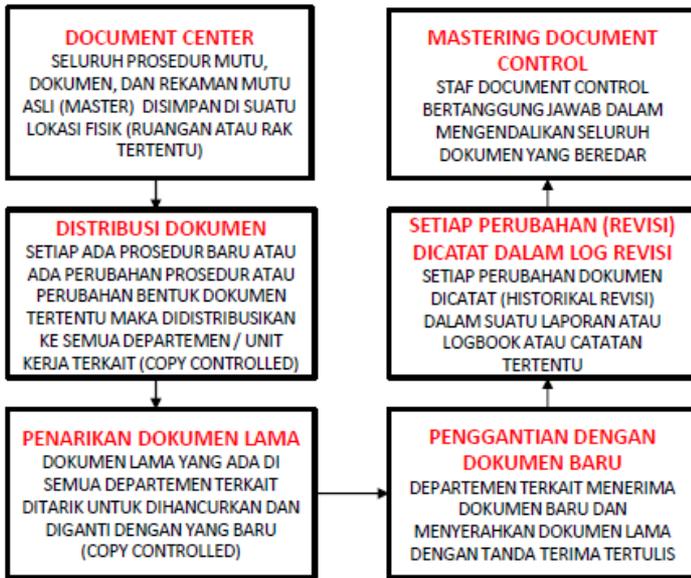


Gambar 8. Penyusunan Prosedur ISO Konvensional



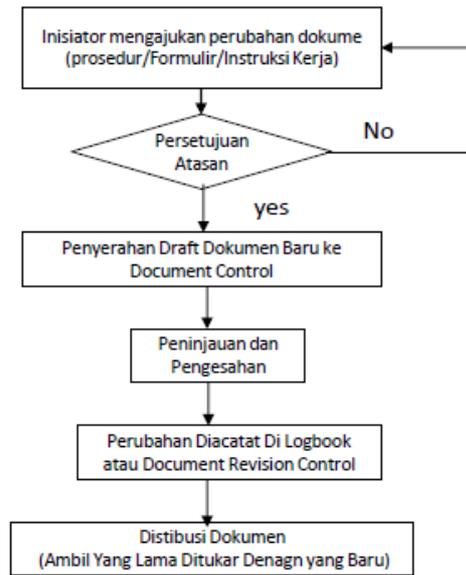
Gambar 9. Teknik Penyusunan Prosedur Mutu ISO

DOCUMENT CONTROL & DISTRIBUSI DOKUMEN ISO 9001 KONVENSIONAL



Gambar 10. Dokumen Kontrol dan Distribusi Dokumen ISO

ALIRAN KERJA REVISI DOKUMEN KONVENSIONAL



Gambar 11. Prosedur Mutu ISO untuk Revisi Dokumen

Kegiatan selanjutnya merupakan kegiatan *Improving Details* dan Desain Sistem prototipe dengan menggunakan *Google form* dan *Google sheet*. *Google form* ini dibagikan ke setiap divisi/ unit untuk mendapatkan gambaran operasional yang optimal di setiap divisi/ unit. Berikut disampaikan proses pengisian prosedur secara digital pada stasiun kerja *Warping*:

DIGITAL PROCEDURE

DIVISI/DEPT/UNIT
Weaving (Mesin Weaving Jet Loom)

No Dokumen
001 / PT. DKT/ WJL/VIII/2020

Judul Prosedur
Proses Produksi pada WJL

Indikator Kinerja
Hasil Kain Greige minimum Cacat (Grade /

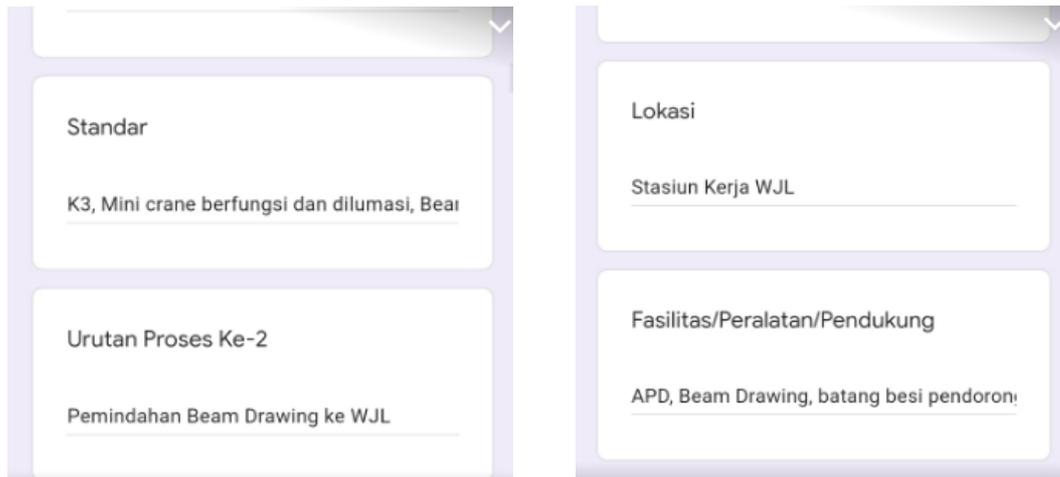
REKAMAN (DOKUMEN YANG

Revisi
01

Tanggal Revisi
00

Penanggung Jawab Utama
Operator WJL dan Operator Drawing

Waktu Pelaksanaan
Shift 1 (pagi)



Gambar 12. Detail desain penyusunan dokumen ISO dengan cara digital menggunakan *Google form*

Uji Coba Sistem

Hasil dokumen *Google form* di-link dengan *Google sheet* ke dokumen mutu.

1. TUJUAN
Untuk memastikan kegiatan atau proses Pemindahan Barang memiliki indikator yang terencana/terencana dengan perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, evaluasi dan tindakan perbaikan sesuai ketentuan yang ditetapkan dalam prosedur ini. Tindakan perbaikan tidak hanya dilakukan lagi tetapi berkesinambungan dalam proses ini, tetapi mencakup aspek pemeliharaan untuk perbaikan secara terus-menerus serta tindakan pencegahan lagi pemeliharaan yang mungkin akan terjadi.

2. RUANG LINGKUP
SO 9001:2015 Sistem manajemen mutu
SO 9001:2015 Sistem manajemen mutu – Dasar dan luas lingkup yang mencakup latar belakang penting untuk pemantauan yang tepat dan pelaksanaan Standar Internasional ISO 9001:2015
SO 9001:2015 Ruang lingkup untuk pemeliharaan – Tujuan dan luas lingkup yang mencakup latar belakang penting untuk pemantauan yang tepat dan pelaksanaan Standar Internasional ISO 9001:2015
SO 9001:2015 Ruang lingkup untuk pemeliharaan – Tujuan dan luas lingkup yang mencakup latar belakang penting untuk pemantauan yang tepat dan pelaksanaan Standar Internasional ISO 9001:2015

3. DEFINISI
Tindakan perbaikan adalah langkah-langkah untuk mengidentifikasi, memahami, memperbaiki dan menghilangkan penyebab dari ketidaksesuaian, untuk mencegah ketidaksesuaian yang sama terjadi atau berespon terjadi di masa depan, serta tindakan tindakan perbaikan yang ditetapkan dan terencana/terencana (ISO 9001:2015 8.5.3.2)

Tindakan Pencegahan adalah untuk menghilangkan potensi ketidaksesuaian, mengidentifikasi penyebab ketidaksesuaian yang terjadi, dan mengidentifikasi tindakan untuk mencegah terulangnya atau ketidaksesuaian. Konsep tindakan pencegahan diungkapkan melalui penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan. Konsep tindakan pencegahan diungkapkan melalui penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan sistem manajemen mutu. Konsep tindakan pencegahan diungkapkan melalui penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan sistem manajemen mutu. Penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan sistem manajemen mutu.

4. INDIKATOR KINERJA
Berang 100% sama, tidak sesuai, kualitas sesuai Standar, Datarang Tidak Sesuai

5. PROSEDUR
Tindakan Kerja Pemindahan Barang

Urutan Proses	Pemangku/Instansi Utama	Waktu Pelaksanaan	Lokasi	Fasilitas/Peralatan/Pendukung	Dokumen/Formulir/ Dan Lain-lain	Standar
1. Memeriksa pemindahan barang sesuai informasi/daftar	Leadur Pemindahan	Sesuai Jadwal	Gedung Pemindahan	Sesuai Pemindahan	Sesuai Pemindahan	Indikator Kerja Pemindahan/ Dan Lain-lain
2. Pemindahan barang di Gudang	Operator Unloading	Sesuai Pemindahan	Gedung Pemindahan	Handfork, Forklift	Sesuai Jadwal, Instruksi, Packing Slip, Lembar Inspektori	Indikator Kerja Pemindahan/ Dan Lain-lain
3. Pemindahan Rikid dan Lantai	Operator Gudang	Sesuai Jadwal Pemindahan/ Dan Lain-lain	Sesuai Pemindahan	Handfork, Forklift, Crane, Forklift	Sesuai Jadwal, Instruksi, Packing Slip, Lembar Inspektori	Indikator Kerja Pemindahan/ Dan Lain-lain
4. Pemindahan Rikid Barang	Inspektur QC	Sesuai Jadwal Pemindahan/ Dan Lain-lain	Gedung Pemindahan	Koridor, Handfork, Crane, Forklift	Sesuai Jadwal, Instruksi, Packing Slip, Lembar Inspektori	Indikator Kerja Pemindahan/ Dan Lain-lain
5. Memeriksa pemindahan Rikid dan Lantai QC, Checklist pemindahan di Gudang	Leadur Gudang	Sesuai Jadwal Pemindahan/ Dan Lain-lain	Gedung Pemindahan	Handfork, Forklift	Handfork, Forklift, Crane, Forklift	Indikator Kerja Pemindahan/ Dan Lain-lain
6. Memeriksa pemindahan Rikid dan Lantai QC, Checklist pemindahan di Gudang	Inspektur QC dan Operator Gudang	Sesuai Jadwal Pemindahan/ Dan Lain-lain	Gedung Pemindahan	Handfork, Forklift	Handfork, Forklift, Crane, Forklift	Indikator Kerja Pemindahan/ Dan Lain-lain

1. TUJUAN
Untuk memastikan kegiatan atau proses Pemeliharaan memiliki indikator yang terencana/terencana dengan perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, evaluasi dan tindakan perbaikan sesuai ketentuan yang ditetapkan dalam prosedur ini. Tindakan perbaikan tidak hanya dilakukan lagi tetapi berkesinambungan dalam proses ini, tetapi mencakup aspek pemeliharaan untuk perbaikan secara terus-menerus serta tindakan pencegahan lagi pemeliharaan yang mungkin akan terjadi.

2. RUANG LINGKUP
SO 9001:2015 Sistem manajemen mutu
SO 9001:2015 Sistem manajemen mutu – Dasar dan luas lingkup yang mencakup latar belakang penting untuk pemantauan yang tepat dan pelaksanaan Standar Internasional ISO 9001:2015
SO 9001:2015 Ruang lingkup untuk pemeliharaan – Tujuan dan luas lingkup yang mencakup latar belakang penting untuk pemantauan yang tepat dan pelaksanaan Standar Internasional ISO 9001:2015
SO 9001:2015 Ruang lingkup untuk pemeliharaan – Tujuan dan luas lingkup yang mencakup latar belakang penting untuk pemantauan yang tepat dan pelaksanaan Standar Internasional ISO 9001:2015

3. DEFINISI
Tindakan perbaikan adalah langkah-langkah untuk mengidentifikasi, memahami, memperbaiki dan menghilangkan penyebab dari ketidaksesuaian, untuk mencegah ketidaksesuaian yang sama terjadi atau berespon terjadi di masa depan, serta tindakan tindakan perbaikan yang ditetapkan dan terencana/terencana (ISO 9001:2015 8.5.3.2)

Tindakan Pencegahan adalah untuk menghilangkan potensi ketidaksesuaian, mengidentifikasi penyebab ketidaksesuaian yang terjadi, dan mengidentifikasi tindakan untuk mencegah terulangnya atau ketidaksesuaian. Konsep tindakan pencegahan diungkapkan melalui penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan. Konsep tindakan pencegahan diungkapkan melalui penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan sistem manajemen mutu. Konsep tindakan pencegahan diungkapkan melalui penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan sistem manajemen mutu. Penggunaan pemeliharaan berbasis risiko dalam menentukan pemeliharaan sistem manajemen mutu.

4. INDIKATOR KINERJA
Jumlah perbaikan/pelaksanaan sesuai target/ sesuai rencana/ sesuai target

5. PROSEDUR
Jadwal pemeliharaan

Urutan Proses	Pemangku/Instansi Utama	Waktu Pelaksanaan	Lokasi	Fasilitas/Peralatan/Pendukung	Dokumen/Formulir/ Dan Lain-lain	Standar
1. Memeriksa jadwal pemeliharaan sesuai kebutuhan/daftar pemeliharaan	Training Manager	Atau tahun	ISO department	Komputer/pemeliharaan	Master Plan of training	Indikator/ pemeliharaan
2. Mengetahui jadwal pemeliharaan training	Manager training	1 minggu sebelum training dan lain-lain	ISO department	Komputer/ Master Plan of training/ Master Plan of training	Master Plan of training/ Master Plan of training	Indikator/ pemeliharaan
3. memvalidasi jadwal training	training manager	1 hari sebelum training dan lain-lain	ISO department	Komputer/ dan lain-lain	Indikator/ pemeliharaan	Indikator/ pemeliharaan
4. Pelaksanaan training	Manager Training dan lain-lain	berdasarkan jadwal training	Lokasi training	Komputer/ dan lain-lain	Master training dan lain-lain	Indikator/ pemeliharaan
5. memvalidasi training dan lain-lain	manajemen man	berdasarkan jadwal training	Indikator/ pemeliharaan	Komputer/ dan lain-lain	Master training dan lain-lain	Indikator/ pemeliharaan
6. memvalidasi training dan lain-lain	Manager training	atau tahun	ISO training	Komputer/ dan lain-lain	Master training dan lain-lain	Indikator/ pemeliharaan

DOCUMENT CONTROL & DISTRIBUSI DOKUMEN ISO 9001 DIGITAL



**DOCUMENT REVISION
CONTROL**



MASTER PROSEDUR



MASTER INSTRUKSI KERJA



MASTER FORMULIR

Gambar 13. Dokumen-dokumen digital ISO 9001:2015

Gambar di atas merupakan gambar dokumen mutu yang tercetak dengan bagian bawah merupakan hasil dari *google form* di setiap divisi/ unit. Pengisian *google form* 70% jauh lebih singkat dan dengan biaya yang sedikit dibawah dokumen manual (*paperless vs biaya wi-fi*).

CHECKSHEET AUDIT MUTU

TANGGAL : 23 Okt 2020
 SUBJEK AUDIT : Prosedur Pelatihan (Dokumen No. 004-23102020)
 AUDITOR : Yoga Kurnia Wibowo
 AUDITTEE : Neneng Sumiyati

NO	DESKRIPSI	MAJOR	MINOR	REMARKS
	(Poin 6.1) Bagaimana Unit kerja merencanakan pelatihan (Buktikan dengan pelaksanaan dalam kenyataan dan ada bukti dokumennya)			
	(Poin 6.2) Bagaimana Melaksanakan persiapan pelaksanaan training (Buktikan dengan pelaksanaan dalam kenyataan dan ada bukti dokumennya)			
	(Poin 6.3) Bagaimana anda mengevaluasi kesiapan training (Buktikan dengan pelaksanaan dalam kenyataan dan ada bukti dokumennya)			
	(Poin 6.4) Bagaimana anda melaksanakan training /meszatkan kegiatan berjalan sesuai rencana (Buktikan dengan pelaksanaan dalam kenyataan dan ada bukti dokumennya)			
	(Poin 6.5) Bagaimana training sesuai dengan harapan peserta (Buktikan dengan pelaksanaan dalam kenyataan dan ada bukti dokumennya)			
	(Poin 6.6) Bagaimana hasil training dari pada aspek kompetensi peserta (Buktikan dengan pelaksanaan dalam kenyataan dan ada bukti dokumennya)			
				AUDITOR
				AUDITTEE

AUDIT REPORT

TANGGAL : 23 Okt 2020
 SUBJEK AUDIT : Prosedur Training
 AUDITOR : Yoga Kurnia Wibowo
 AUDITTEE : Neneng Sumiyati

TEMUAN AUDIT					
DESKRIPSI :					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">AUDITOR</td> <td style="width: 50%;">AUDITTEE</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	AUDITOR	AUDITTEE		
AUDITOR	AUDITTEE				
TINDAKAN PERBAIKAN					
DESKRIPSI (5W1H) :					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">AUDITOR</td> <td style="width: 50%;">AUDITTEE</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	AUDITOR	AUDITTEE		
AUDITOR	AUDITTEE				
VERIFIKASI HASIL PERBAIKAN (TANGGAL:.....)					
HASIL VERIFIKASI :					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">AUDITOR</td> <td style="width: 50%;">AUDITTEE</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	AUDITOR	AUDITTEE		
AUDITOR	AUDITTEE				

Gambar 14. Integrasi dokumen digital pada dokumen audit mutu

DAFTAR PUSTAKA

1. Abuhav, Itay. “ISO 9001: 2015 A Complete Guide to Quality Management System”, Boca Raton, FL 33487-2742. *Definitions* **46 (10)**, 82-82 (2017).
2. Ay Ginting, Pasti, World Class Quality Management, Kesaint Blanc, 21-23 (2008).
3. Blokdijk, Gerard. ISO 9000, ISO 9001 100 Success Secret : The Missing ISO 9000, ISO 9001 Checklist, Certification, Quality, Audit and Training Guide, *Concept* **3 (15)** 238 -239 (2018).
4. BSN, 2000, Pengenalan Sistem Manajemen Mutu, Badan Standardisasi Nasional, (2000).
5. Dentch, Milton P. The ISO 9001 : 2015 Implementation Handbook, Using The Process Approach to Build a Quality Management System. American Society for Quality.*Implementation* **3 (5)** 78 - 70 (2017).
6. Gaspersz, Vincent, ISO 9001:2000 and Continual Quality Improvement, *Identification* **3 (26)** 112 - 114 (2002).
7. Hasbullah, Training ISO, Indonesian Daya Taruna (2020).
8. Hoyle, David. ISO 9000 Quality Systems Handbook. Elsevier Ltd. Burlington, . **8(3)** 65 - 66 (2009).
9. ISO 9000:2015, *Quality Management Systems Fundamentals Vocabulary. Principles* **5(3)**5-7 (2010).
10. Mitra, Amitava, *Fundamental of Quality Control and Improvement, 2nd ed*, Prentice Hall, New Jersey. *Revision* **3 (5)** 37 -39 (1998).
11. Phillips Ann W. ISO 9001 : 2015 Internal Audits Made Easy, Tools, Techniques, and Step by Step Guidelines for Successful Internal Audits, 2016. ASQ *Quality Definitions* **2 (10)** 105 - 107 (2016).
12. Wulandari, Catur Ratna, Industri 4.0, Balai Besar Tekstil Fokus Pengembangan Tekstil Fungsional, Artikel Pikiran Rakyat. Com 1-2 (2019).

KAJIAN DESAIN DALAM VISUAL *FASHIONABLE* MASKER PADA ERA PANDEMI COVID-19

STUDY OF DESIGN IN A VISUAL FASHIONABLE MASK IN THE ERA OF COVID-19 PANDEMIC

Irfa Rifaah

Politeknik STTT Bandung, Jl. Jakarta No.31, Bandung 40272, Telp. 022 7272580
E-mail: irfa.rifaah@gmail.com

ABSTRAK

Masker menjadi suatu atribut yang penting dalam kehidupan sehari-hari masyarakat Indonesia ketika Covid-19 terjadi sejak Maret 2020 lalu, masker muncul dalam berbagai wujud. Wujud masker hadir dalam bentuk masker medis atau masker kain dengan standar SNI 8914:2020.¹³ Khusus masker kain, kreativitas muncul dalam berbagai konsep desain, sehingga menarik para pembelinya. Sebuah masker kain bahkan dapat bernilai seharga satu paket masker medis yang dijual umum. Adapun hal tersebut tak hanya dipengaruhi oleh kerumitan proses pembuatan masker, estetika desain, tetapi juga nilai *prestige* dari *brand fashion*. Masker yang menjadi objek penelitian ini adalah masker berbahan kain akan dikaji dari sisi visual desain, yaitu dari sisi bentuk, motif, komposisi warna, teknik pembuatan dan hiasannya, serta *style fashion*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kualitatif berdasarkan pendekatan fenomenologis dan etnometodologi dengan mengkaji 30 *brand fashion* (jenama fesyen) Indonesia, baik *brand official* desainer (tunggal) dan *brand fashion* (tim desainer). Proses pengumpulan data dan informasi dilakukan melalui observasi lapangan, studi literature, dan wawancara. Hasil analisis berupa deskripsi dan memperlihatkan berbagai kreativitas desain masker kain dengan visualisasi *style fashion* yang *simple*, *nyentrik*, *bohemian style*, *feminine style*, *street style*, tradisional *style*, bahkan pengangkatan isu *sustainable* yang hadir dalam visual *patchwork* kain perca, ataupun penggunaan pewarnaan alam dan motif alam.

Kata kunci: masker kain, visual, desain, *style*, *fashion*

ABSTRACT

Masks appeared in various form since it is becoming as one of important attribute in the daily life when Covid-19 occurred March 2020, in Indonesia. The form of masks as medical masks and cloth masks, which is produced with standardization based on SNI 8914:2020.¹³ Especially for cloth masks, creativity appears in various design concepts, hence it is attracting buyers. A cloth masks even could be worth as the price of one box package medical masks. This is not only influenced by the complexity of the masks process production, the aesthetics of the design but also the prestige value that came from the fashion brand. The cloth masks are the object of this research, it will be studied from the visual design perspective, in the terms of shapes, motif, color composition, production techniques and decorations, and style fashion. The research method is qualitative method, with a phenomenological and ethnomethodology approach by examining 30 Indonesian fashion brands, which is from official designers (individual) and fashion brands (team). The process of collecting data and information is carried out through field observations, literature studies, and interviews. The analysis results describe and show a variety of cloth masks design creativities with visualization of simple, quirky, bohemian styles, feminine styles, street styles, traditional styles, even the adaptation of sustainable issues that are present in patchwork visuals, and the use of natural coloring and motifs.

Keywords: cloth masks, visual, design, *style*, *fashion*

PENDAHULUAN

Keberadaan Covid-19 di Indonesia semenjak bulan Maret 2020, memberikan efek yang signifikan bagi gaya hidup masyarakat. Istilah “*new normal*” mengartikan gaya hidup haruslah berdasarkan protokol kesehatan, menjaga jarak, dan mencuci tangan dengan menggunakan sabun dan air mengalir.⁵ Tak hanya itu, sehari-harinya masyarakat dituntut disiplin dalam memakai masker, guna pencegahan *droplet* (percikan saluran nafas) kepada lawan bicaranya. Peranan masker semakin penting bagi masyarakat, ketika pemerintah bahkan menerapkan sanksi denda bila seseorang tidak menggunakan masker.

Kini wujud masker tak hanya hadir dalam bentuk masker medis, melainkan juga masker kain. Dalam SNI 8914:2020,¹³ masker kain memiliki standar pada jumlah lapisan kain, yang ditentukan dengan minimal memiliki dua lapis kain. Berkaitan dengan hal tersebut, masker kain pun akhirnya menjadi suatu produk yang dapat didesain bentuk dan lapisannya, sehingga dapat dijadikan sebagai usaha di tengah pandemi. Menciptakan

suatu masker yang berbeda dari lainnya, yang menarik mata para calon konsumen, menjadi poin penting dari para desainer masker yang berkerja dalam usaha *fashion*.

Brand fashion (jenama fesyen) menjadi penting bagi suatu usaha *fashion*, dimana saat ini *brand fashion* yang terdiri atas dua jenis karakteristik, yaitu *brand official* desainer (desainer sebagai pemilik usaha memiliki peran tunggal dalam pengambilan keputusan produksi dan usaha), dan *brand fashion* (desainer merupakan tim dari suatu perusahaan milik suatu lembaga usaha perorangan atau non-perseorangan). Kedua karakter *brand fashion* ini berkompetisi untuk membuat masker yang tak hanya nyaman, berestetika, *eye catching*, tetapi juga memiliki *added value*. *Added value* merupakan nilai tambah dari suatu produk yang dapat bersifat *intangible* ataupun *tangible*. Bila dikaitkan dengan *added value* secara *intangible* suatu produk, hal ini dapat berarti nilai *prestige* (didasari atas popular ataupun kredibilitas dari suatu *brand*, sehingga konsumen bangga akan pemakaian barang asal *brand* tersebut), dan nilai konten dan *image* yang dibawakan oleh *brand*. Untuk *added value* secara *tangible*, dapat berarti sebagai suatu yang dapat dilihat mata agar menambah nilai jual produk tersebut, umumnya berupa “*service*” lanjutan dari produk.

Masker kain sebagai objek penelitian, diambil dari 30 *brand fashion* dari dua karakter *brand*. Adapun alasan mengapa mengambil dari kedua karakter *brand* tersebut adalah sebagai *brand official* desainer, desainer yang juga berperan sebagai pemilik, umumnya memiliki daya kreativitas pendesainan yang lebih leluasa dibandingkan usaha *brand fashion* dari suatu tim desainer. Kreativitas desain tersebut akan dikaji dan diperlihatkan dari visualisasi desain masker kain, estetika, *added value*, dan *style* desain masker kain.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kualitatif. Metode kualitatif memiliki dasar teoritis penelitian yang dapat dilakukan melalui pendekatan fenomenologis dan etnomedologis.⁷ Fenomenologis merupakan suatu pendekatan untuk menggali dan mengungkapkan suatu makna dari sebuah fenomena, sedangkan etnomedologis merupakan pendekatan meneliti bagaimana suatu individu menciptakan, dan berkarya sehari-harinya. Untuk menguraikan metodologi tersebut, digunakan pengumpulan data dan informasi berupa:

1. Observasi lapangan: untuk memperoleh data-data visual, dan produk masker kain secara langsung.
2. Studi literatur: sebagai data teoritis untuk mengkaji dari sisi desain, estetika, dan *fashion* sebagai bahasa komunikasi terkait dengan *added value* dari masker kain yang *fashionable*.
3. Wawancara: wawancara dilakukan pada beberapa desainer *brand fashion*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai objek penelitian, masker kain yang *fashionable* diambil dari 30 *brand fashion* Indonesia. Adapun ke 30 *brand* (jenama) tersebut adalah ‘aest.fabric’, ‘Aldrei Indrayana’, ‘Ali Carisma’, ‘Allura’, ‘Anne Avantie’, ‘Biyen’, ‘Cotton ink’, ‘Danny Satriadi’, ‘iwearup’, ‘Edward Hutabarat’, ‘Ghea Panggabean’, ‘Happa’, ‘Hannie Hananto’, ‘Hiantjen’, ‘Kamiiidea’, ‘Kimi Indonesia’, ‘Lenny Agustin’, ‘Lulu Lutfi Labibi’, ‘Malik Moestaram’, ‘Mel Ahyar’, ‘Nunik Mawardi’, ‘Oscar Lawalata’, ‘Peggy Hartanto’, ‘Riri Rengganis’, ‘Sapto Djojokartiko’, ‘Sebastian Gunawan’, ‘Sejauh Mata Memandang’, ‘Sofie’, ‘Zibalabe’, dan ‘Zytadelia’.

Berdasarkan *brand fashion* tersebut, maka dilakukan observasi visual masker kain, dan mengkaji konsep desain dari masker kain sebagai produk. Konsep desain dari masker kain secara garis besar memiliki keselarasan dengan konsep *brand fashion* yang mengeluarkan produk masker kain. Sebagai contoh, ‘Sejauh Mata Memandang’ merupakan *brand* yang mengangkat tentang “cinta bumi”, sehingga dalam pendesainan maskernya, pemanfaatan bahan-bahan perca dari produksi sebelumnya yang dihadirkan dengan teknik *patchwork* menjadi selaras dengan konsep *brand* dan menjadi *added value intangible* (Lihat Gambar 3).

Adapun setelah data observasi diolah, maka ditemukan bahwa suatu *brand fashion* dapat mengeluarkan produk masker kain minimal dalam satu series koleksi. Rekor series koleksi terbanyak pun didapati dari ‘Ghea Panggabean’, yang merupakan *brand* dengan koleksi sebanyak 10 buah series, seperti masker dengan series peringatan 17 Agustus, motif kain jumputan, motif Gorga Toraja, motif kain tenun ikat, motif kain Grinsing masker dari kain cinde dan batik, masker dari hasil *print* dengan motif wayang kembar, floral, serta bordir emas dengan nama series “Ghea Gold”. Penjelasan mengenai series koleksi dari 30 *brand fashion* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kajian Konsep Series dari 30 *brand fashion*

No.	Brand	Type Brand	Konsep			
			Style	Series	Motif	Teknik
1	aest.fabric	Tim Desainer	Casual Natural	1. Kain Eco print 2. Blue Ocean Ruffle 3. "Kaws"	Background plain (variant colors) with leaves	Eco print in fabric then sew

No.	Brand	Type Brand	Style	Konsep		
				Series	Motif	Teknik
2	Aldrei Indrayana	Desainer	Edgy	1. Y.W.X.T.V type	Geometric and fabric textures (denim)	Cutting pattern fabric and sew
				2. "Repartee"	Totems	Print and sew
3	Ali Carisma	Desainer	Edgy Punk	Embellishment	–	Add plastic but looks like metal embellishment
4	Allura	Tim Desainer	Feminin	1. Embroidery	Flowers	Embroidery and sew
				2. Printing	Floral, cities, lace, geometric, woven, stuff, maps	Print and sew
5	Anne Avantie	Desainer	Traditional	1. Batik	Geometric and natural	Sew and add frame embellishment
				2. Brocade	Floral	Sew
6	Biyana	Desainer	Traditional	Humba Hammu	Sumba motifs in symmetrical composition	Embroidery and sew
7	Cotton Ink	Tim Desainer	Casual	Matching with cloth	Geometric, stroke, face caricatur	Print and sew
8	Danny Satriadi	Desainer	Style	1. Couture	Detail floral, animals	Embroidery and sew
				2. Nozomu	Natural accent	Embroidery and sew
				3. Origami	Floral, animal with origami 3d	Embroidery in pattern, embroidery in origami, then sew
9	Diana Rikasari/ iwearup	Desainer	Cheerful	Recycle fabric cutting	Geometric, fabric textures	Sew
10	Edward Hutabarat	Desainer	Traditional	1. Ulos Harungan	Tenun ulos	Sew
				2. MegaMendung	Batik Mega Mendung	Top stitch and sew
				3. Lurik	Tenunan Lurik stripes	Sew
11	Ghea Panggabeau	Desainer	Traditional	1. 75th Indonesia	Garuda, Indonesian Map, wayang in red, white, gold colors	Print/embroidery and sew
				2. Batik	Kain batik floral	Sew
				3. Cinde	Kain Cinde	Sew
				4. Ghea Gold	Geometric, garuda, sulur	Embroidery and sew
				5. Grinsing Print	Motif print grinsing	Print and sew
				6. IZINK Print Series	Motif print floral	Print and sew
				7. Jumputan Print	Motif print jumputan	Print and sew
				8. Tenun Ikat Print	Motif print tenun ikat	Print and sew
				9. Toraja Print	Motif print Gorga toraja	Print and sew
				10. Wayang Kembar Print	Motif print wayang simetris	Print and sew

No.	Brand	Type Brand	Style	Konsep		
				Series	Motif	Teknik
12	Hannie Hananto	Desainer	<i>Cheerful</i>	<i>Print and Embelishment</i>	<i>Human figure carricatur and colorfull embelishment</i>	<i>Sew and add embelishment</i>
13	Happa	Tim Desainer	<i>Bohemian</i>	1. Hayati Series	<i>Mix motif: dreamcatcher, natural, strooke, stuff and country side looks</i>	<i>Sew and add pompom frame</i>
				2. Matching Mask & Scarf	<i>Mix motif: dreamcatcher, natural, strooke, stuff and country side looks</i>	<i>Print and Sew</i>
				3. XY Buff	<i>Strooke</i>	<i>Print and Sew</i>
14	Hiantjen	Desainer	<i>Elegant</i>	1. Alphabeth Initial Beaded	<i>Alfabeth and floral</i>	<i>Embroidery and sew</i>
				2. Mainland Creatures	<i>Animals and floral</i>	<i>Embroidery and sew</i>
				3. Sea Creatures	<i>Animals with "twist"</i>	<i>Embroidery and sew</i>
				4. HiantjenX Dionwiyoko	<i>Skull</i>	<i>Print and sew</i>
15	Kamiidea	Tim Desainer	<i>Casual</i>	<i>Print KamiMaskx Masch</i>	<i>Background stripes/strooke with floral accent</i>	<i>Print and sew</i>
16	Kimi Indonesia	Tim Desainer	<i>Casual</i>	1. Batik Garut	<i>Floral modul white</i>	<i>Batik and sew</i>
				2. Plain		<i>Sew</i>
				3. Print	<i>Strooke and stuff</i>	<i>Print and sew</i>
				4. Tenun	<i>Motif print tenun ikat</i>	<i>Print and sew</i>
17	Lenny Agustin	Desainer	<i>Cheerful</i>	1. Batik, Tenun, Katun Series	<i>Kain batik, tenun, katun motif</i>	<i>Sew</i>
				2. Costume Embroidery	<i>Costume (cartoon figure)</i>	<i>Embroidery and sew</i>
				3. Imaginary Friends	<i>Human illustration</i>	<i>Sew</i>
				4. Jaranan	<i>Reog Illustration</i>	<i>Sew</i>
				5. Katun Jepang Print	<i>Katun motif</i>	<i>Sew</i>
				6. My Little Pony	<i>My little Pony character</i>	<i>Sew</i>
				7. Tye Dye	<i>tie dye effect</i>	<i>Sew</i>
				8. Wansosa	<i>Human figure carricatur and colorfull strooke</i>	<i>Sew</i>
18	Lulu Lutfi Labibi	Desainer	<i>Traditional</i>	1. Laku Tirakat	<i>Semar wayang, stuff</i>	<i>Sew and add embroidery figure/stuff</i>
				2. Kain	<i>Geometric and strooke</i>	<i>Sew</i>
19	Malik Moestaram	Desainer	<i>Feminin</i>	<i>Brookat with Embelishment</i>	<i>Brocade fabric and floral embroidery application</i>	<i>Sew and add embelishment</i>

No.	Brand	Type Brand	Style	Konsep		
				Series	Motif	Teknik
20	Mel Ahyar	Desainer	<i>Artistic</i>	1. Kain	<i>Geometric, stroke, stuff caricatur</i>	<i>Sew</i>
				2. Visage	<i>Lip and gradation colors</i>	<i>Print and sew</i>
				3. Oasis	<i>Floral embroidery</i>	<i>Embroidery and sew</i>
21	Nunik Mawardani	Desainer	<i>Edgy</i>	<i>Origami and Cutting pattern</i>	<i>Plain/Stripes</i>	<i>Cutting pattern fabric and sew</i>
22	Oscar Lawalata	Desainer	<i>Traditional</i>	1. Lurik	Kain lurik	<i>Cutting pattern fabric and sew</i>
				2. Bunga Rampai Embroidery	Bunga Rampai	<i>Embroidery and sew</i>
23	Peggy Hartanto	Desainer	<i>Simple</i>	1. Careta	<i>Plain, stripes, dots</i>	<i>Cutting pattern fabric and sew</i>
				2. Ocultar	<i>Plain, stripes, dots</i>	<i>Cutting pattern fabric and sew</i>
24	Riri Rengganis	Desainer	<i>Traditional</i>	<i>Embroidery</i>	Floral, mega mendung	<i>Embroidery and sew</i>
25	Sapto Djojokartiko	Desainer	<i>Traditional</i>	1. Embroidered	<i>Geometric and floral</i>	<i>Embroidery and sew</i>
				2. Panara	<i>Geometric and floral</i>	<i>Embroidery and sew</i>
26	Sebastian Gunawan	Desainer	<i>Glamour, Vintage</i>	1. Post Series	<i>Envelopes</i>	<i>Print and sew</i>
				2. Indonesia75th	Indonesia map	<i>Print and sew</i>
				3. Embroidery & Embellishment	<i>Fabric textures and Embellishment</i>	<i>Sew and add embellishment</i>
				4. Print Mix	<i>Geometric and naturalis simetris</i>	<i>Print and sew</i>
27	Sejauh Mata Memandang	Desainer	<i>Casual sustainable</i>	1. Special Edition	<i>Patchwork kain batik dots, stipes</i>	<i>Patchwork and sew</i>
				2. Kain	<i>Kain batik dots, stipes</i>	<i>Sew</i>
28	Sofie	Desainer	<i>Edgy Urban</i>	1. Tenun	<i>Geometric</i>	<i>Sew</i>
				2. Print match Hat	<i>Geometric</i>	<i>Sew</i>
				3. 3D Mask	<i>Geometric and fabric textures</i>	<i>Sew</i>
29	Zibalabel	Tim Desainer	<i>Ethnic Casual</i>	1. Kain	<i>Print, plain with pin tuck</i>	<i>Sew</i>
				2. 3D Mask	Tenun songket, Tenun Makasar	<i>Cutting pattern fabric and sew</i>
30	Zytadelia	Tim Desainer	<i>Feminin</i>	1. Embroidery	<i>Floral embroidery</i>	<i>Embroidery and sew</i>
				2. Herbis Series	<i>Background stripes/ strooke with floral accent</i>	<i>Print and sew</i>
				3. Beuvita Series	<i>Geometric</i>	<i>Print and sew</i>

Setelah mengkaji series koleksi dari *brand fashion*, maka diketahui teknik produksi masker yang paling banyak dilakukan oleh *brand fashion*, yaitu *sew* yang berarti menjahit langsung kain yang telah ada di tempat produksi. Adapun bahan-bahan tersebut adalah kain tenun, kain bermotif hasil *print custom made* oleh *brand fashion*, ataupun motif print dari pabrik kain. Teknik lainnya yang cukup sering digunakan oleh beberapa *brand fashion* adalah *embroidery and sew*, yang berarti setelah kain masker dipola, kain tersebut dibordir mesin terlebih dahulu sebelum dijahit menjadi masker. Terdapat dua teknik yang minim tetapi tampaknya akan menjadi suatu peluang di masa mendatang, dimana teknik tersebut hanya digunakan oleh beberapa *brand fashion*, yaitu *cutting pattern fabric and sew*, yang berarti bahwa pola masker di rekayasa sedemikian rupa

bentuknya agar potongannya setelah dijahit memiliki bentuk desain yang berbeda dari yang lainnya. Satu teknik lainnya adalah *sew and add embellishment* yang berarti setelah dijahit kemudian masker diberi tambahan hiasan seperti *beads*, *origami*, dan hiasan lainnya.

Tak kalah penting selain konsep series desain dan teknik serta motif yang digunakan guna menentukan *style* masker *fashionable* adalah bentuk masker. Berdasarkan teknik *cutting pattern fabric and sew*, maka bentuk masker kain menjadi suatu peluang kreativitas bentuk, lapisan kain agar bentuk masker semakin estetik dan nyaman digunakan oleh penggunanya. Berikut adalah gambar masker kain dari beberapa desainer yang mulai memfokuskan desain kepada pemecahan pola masker, guna mendapatkan bentuk masker yang baru.



Gambar 1. Masker kain dari desainer ‘Aldrei Indrayana’, ‘Peggy Hartanto’, dan ‘Happa’ (membaca gambar dari arah kiri ke kanan).

Dilihat masker kain pada Gambar 1 di atas, bentuk desain sangat sesuai dengan karakter masing-masing *brand fashion*. Desainer ‘Aldrei Indrayana’ menekankan *style edgy*, yaitu gaya sehari-hari yang tampilannya berbeda dari orang kebanyakan, sangat sesuai dengan desain masker yang merupakan gabungan dari dua bahan kain, dengan penempatan kain dan pola yang berbeda dari masker kain pada umumnya, terlebih tali pengikat masker pun tidak berbentuk *earloop* ataupun *headloop* melainkan tali dengan *stopper*. Desainer ‘Peggy Hartanto’ pun menampilkan gaya desainnya yang *simple*, sederhana, rapi, tapi memiliki esensi yang berbeda dari masker kain lainnya. Diberi nama dengan series *Careta*, bentuk atas masker seperti bentuk setengah lingkaran yang tersusun rapi, namun di bagian hidung memiliki ukuran yang lebih besar serta di beri *balen* kawat agar masker dapat dibentuk sesuai bentuk hidung pemakainya. ‘Happa’ *brand* memiliki bentuk yang bersumber pada bentuk masker kain pada umumnya, namun pada sisi bawah masker, ditambahkan kain seukuran *scarf* guna mengikatkan *scarf* pada bagian leher ketika masker kain dikenakan. Efek dari pemakaiannya sangat mengesankan *style bohemian* dari pemakainya.

Style merupakan salah satu *added value tangible*, berkaitan dengan hal tersebut maka salah satu *added value* yang dapat dilihat adalah “*service*” yang diberikan oleh suatu *brand fashion* terhadap konsumen yang membeli produk masker kainnya. Salah satu “*service*” yang ditawarkan oleh suatu *brand* adalah kecocokan (*matching*) antara masker kain dengan tas, topi, ataupun pakaian dari penggunanya. Hal inilah yang dijual oleh beberapa *brand fashion*, seperti ‘Sapto Djojokartiko’ dengan *match* masker dengan tas penyimpanan masker, desainer ‘Sofie’ yang memberikan tampilan *match* masker dengan topi, dan ‘Cotton Ink’ *brand* yang menyamakan motif masker kain dengan pakaiannya, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Masker kain *match* tas, *match* topi, *match* pakaian.(membaca gambar dari arah kiri ke kanan).



Gambar 3. Masker Kain *patchwork* dari ‘Sejauh Mata Memandang’ brand.

KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah bahwa berdasarkan kajian desain terhadap visualisasi masker kain yang diproduksi oleh *brand fashion*, memiliki konsep yang berbeda-beda. *Style* masker dan pengembangan desain masker tetap bersumber pada konsep *brand fashion*, sebagaimana bila suatu *brand* merupakan usaha yang mengangkat *sustainable* dan *ecoprint*, maka produk masker tentunya akan menyelaraskan desainnya dengan konsep yang serupa. Pada hal ini dibuktikan *brand* ‘Sejauh Mata Memandang’ dengan pemakaian teknik *patchwork* memanfaatkan kain perca yang sesuai dengan konsep *sustainable brand*, dan *ecoprint* dari label ‘aest.fabric’ dengan menerapkan warna-warna natural dari pewarnaan alam di bahan kain organik untuk memproduksi masker. Hal ini menjadi *added value intangible* yang berarti kredibilitas dari kekonsistenan suatu *brand fashion* dalam mempertahankan konsep usaha mereka.

Harga masker kain pun tak hanya ditentukan dari tingkat kerumitan desain dan teknik produksi, melainkan juga “besar” nya nama *brand*. Nama *brand* besar dapat diketahui dari sepaik terjang kekonsistenan suatu *brand fashion*. Akan tetapi desain pun menjadi salah satu kunci penting dalam penentuan pembelian produk masker kain. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, diharapkan kelanjutannya baik dari sisi pengamatan bentuk desain yang lebih spesifik, ataupun penjabaran *style* dengan lebih mendetail.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adlin, Alfathri. *Resistensi Gaya Hidup: Teori dan Realitas*. Jelasutra (2006).
2. Alwasilah, Chaedar. *Pokoknya Kualitatif*. Kiblat Buku Utama. (2003).
3. Barnard, Malcom. *Fashion sebagai Komunikasi: Cara mengkomunikasikan Identitas Sosial, Seksual, Kelas, dan Gender*. Jelasutra (1996).
4. Chaney, David. *Lifestyles, Sebuah Pengantar Komprehensif*. Jelasutra (1996).
5. Habibi, Adrian. “Normal Baru Pasca Covid-19” dalam ‘Adalah: Buletin Hukum dan Keadilan Volume 4 Nomor 1 (hlm. 197-204). Jakarta: Pusat Studi Konstitusi dan Legislasi Nasional Fakultas Syariah dan Hukum UIN Syarif Hidayatullah Jakarta (2020).
6. Kobayashi, Shigenobu. *Color Image Scale*. Kodansha, (1991).
7. Moleong, Lexy J. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Remaja Rosdakarya (2001).
8. Norman, Donald A. *Emotional Design: why we love (or hate) everyday things*. Basic Books. (2004).
9. Sachari, Dr. Agus. *Metodologi Penelitian Budaya Rupa*. Erlangga. (2005).
10. Sahari, Agus. *Estetika: Makna, Simbol, dan Daya*. ITB. (2002).
11. Sanyoto, Sadjiman Ebd. *Dasar-dasar Tata Rupa dan Desain (Nirmana)*. Arti Bumi Intaran (2005).
12. Storey, John. *Pengantar Komprehensif Teori dan Metode Cultural Studies dan Kajian Budaya Pop*. Jelasutra (1996).
13. [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2020. SNI 8914:2020. Tekstil – Masker dari kain. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

SUSTAINABLE FASHION DALAM CIRCULAR ECONOMY

SUSTAINABLE FASHION IN CIRCULAR ECONOMY

Maya Komalasari, Maulana Fahrizal Abdan

Politeknik STTT Bandung, Jl. Jakarta No. 31 Bandung, Telp. 022-7272580
E-mail: maya.komalasari@yahoo.com, ari.abdan.mbh@gmail.com

ABSTRAK

Industri tekstil dan fesyen merupakan salah satu sektor industri terbesar di dunia, yang menggunakan banyak sumber daya dan menyebabkan banyak masalah pada lingkungan hidup. Secara global sebanyak 20% pencemaran air disebabkan oleh pewarnaan dan pengolahan. Pabrik tekstil dan termasuk di dalamnya industri garmen menjadi kontributor terbesar dalam pencemaran lingkungan, karena bahan kimia berbahaya dan beracun yang digunakan, kemudian limbah yang dihasilkan tidak diolah dengan benar. Dalam sistem linier (desain-manufaktur-penjualan-buang) berbagai pihak turut membuang-buang bahan berharga dalam jumlah besar. Tidak hanya bahan, tetapi juga banyak sumber daya lainnya, seperti air dan energi yang dibutuhkan untuk pembuatannya terbuang sia-sia jika masa pakai produk sangat singkat. Untuk mengurangi dampak negatif dari sistem linear, berbagai pihak seperti pengusaha, desainer, akademisi, pemerintah, retailer, dan konsumen harus mulai bekerja sama dan harus menciptakan keseimbangan yang lebih baik dan menggunakan semua sumber daya dengan lebih bijak. Salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah konsep *circular economy* dimana pada konsep ini suatu produk dirancang untuk memiliki siklus hidup yang lebih panjang dan dapat terurai secara hayati (*biodegradable*).

Kata Kunci: *sustainable, fashion, limbah, circular economy*

ABSTRACT

The textile and fashion industry is one of the largest industrial sectors in the world, consuming a lot of resources and causing many problems to the environment. Globally, 20% of water pollution is caused by dyeing and finish processing. Textile factories and including the garment industry are the biggest contributors to environmental pollution, because of the hazardous and toxic chemicals used, and the resulting waste is not treated properly. In a linear system (design-manufacture-sale-waste), various parties contribute to the waste in large quantities of valuable materials. Not only their own materials, but also other resources, such as water and the energy required to manufacture them are wasted if the life cycle of the product is very short. To reduce the negative impact of linear systems, entrepreneurs, designers, academics, governments, retailers, and consumers have to collaborate and must create a better equilibrium and use all resources wisely. One solution that can be developed is the circular economy concept, where in this concept a product is designed to have a longer life cycle and is biodegradable.

Keyword: *sustainable, fashion, waste, circular economy*

PENDAHULUAN

Industri tekstil dan fesyen merupakan salah satu sektor industri terbesar di dunia, yang menggunakan banyak sumber daya dan menyebabkan banyak masalah pada lingkungan hidup. Secara global sebanyak 20% pencemaran air industri disebabkan oleh pewarnaan dan pengolahan tekstil.^{3,4} Dalam sistem linier, sebagian besar sektor industri ini menggunakan sumber daya yang tidak *sustainable* atau tidak terbarukan dimana penggunaan bahan kimia untuk menghasilkan serat, mewarnai, dan proses *finishing* serat dan tekstil, termasuk minyak untuk menghasilkan serat sintetis, pupuk untuk menanam kapas sebanyak 98 juta ton per tahun.³ Pindahannya industri tekstil dan *fesyen* ke negara-negara berbiaya lebih rendah di sisi lain dunia, tidak menjadi solusi untuk lingkungan hidup, perpindahan ini pun memiliki banyak masalah lingkungan. Pabrik tekstil menjadi kontributor terbesar dalam pencemaran lingkungan, karena bahan kimia berbahaya dan beracun yang digunakan, kemudian limbah yang dihasilkan tidak diolah dengan benar. Hal ini menyebabkan tragedi kemanusiaan bagi pekerja dan masyarakat sekitar serta lingkungan mereka.

Dalam sistem linier (desain-manufaktur-penjualan-buang) berbagai pihak turut membuang-buang bahan berharga dalam jumlah besar. Namun, tidak hanya bahan, tetapi juga banyak sumber daya lainnya, misalnya air dan energi yang dibutuhkan untuk pembuatannya terbuang sia-sia jika masa pakai produk sangat singkat. Diperkirakan sebesar 80% dari semua produk berubah menjadi limbah dan dibuang dalam enam bulan pertama.² Jumlah pakaian yang dibeli secara impulsif telah meningkat, dan beberapa pakaian tersebut mungkin

tidak pernah dikenakan.⁵ Beberapa konsumen secara aktif membeli pakaian karena tingkat emosionalnya dan berlangsung terus menerus, dan pembelian secara emosional ini menjadi candu dan dengan mudah mengarah pada belanja impulsif, yang tampaknya telah dianggap wajar sebagai konsumerisme.⁷

Selain itu, sejumlah besar produksi garmen menyebabkan pasar menjadi terlalu jenuh, dan tidak semua pakaian yang diproduksi benar-benar memasuki pasar lagi. Ada angka yang berbeda untuk pakaian yang tidak terjual, tetapi satu perkiraan menunjukkan bahwa 20% dari pakaian yang diproduksi akan tidak terjual.⁹ Misalnya, di Belanda diperkirakan 21 juta unit pakaian tidak terjual pada tahun 2015, artinya stok pakaian di toko atau gudang adalah 6,5% dari total pakaian yang ditawarkan kepada konsumen.⁸

WRAP (2012) melaporkan bahwa 1,14 juta ton pakaian dipasok ke pasar Inggris setiap tahun dan 1,78 juta ton bahan baku diperlukan untuk memproduksi pakaian-pakaian tersebut. Dari data ini, sekitar 30% menjadi limbah dalam tahap produksi (limbah pra-konsumen), 10.000 ton berakhir sebagai limbah selama waktu penggunaan (rusak dalam pemeliharaan, misalnya rusak selama pencucian) dan 1,13 juta ton pakaian bisa digunakan kembali (540.000 ton, 70% di luar negeri), didaur ulang (160.000 ton), dibakar (80.000 ton) atau ditimbun (350.000 ton, senilai £ 140 juta).

Model linier menghasilkan sistem fesyen yang jenuh dan berlebihan dengan dampak lingkungan yang sangat besar,¹ sehingga perlu pengembangan sistem yang mampu merubah sistem menjadi lebih baik. Berbagi pihak harus mulai bekerja sama dan harus menciptakan keseimbangan yang lebih baik dan menggunakan semua sumber daya dengan lebih bijak.

Circular Economy (CE) bersifat regeneratif, berdasarkan prinsip tertutup. CE adalah suatu sirkular ekonomoi yang berkesinambungan, yaitu mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam dan pencegahan limbah (ibid.). Menurut konsep tersebut, suatu produk dirancang untuk memiliki siklus hidup yang lebih panjang dan dapat terurai secara hayati (*biodegradable*). Dengan demikian, setelah fase penggunaan, produk akan berlanjut dalam siklus teknis atau biologis (McDonough, Braungart, 2002). Ide ini dikembangkan lebih lanjut dalam konsep *Cradle to Cradle* yang merupakan prinsip terkenal dalam dua siklus yang berbeda, biologi dan teknologi. Potensi untuk menggantikan produk berkelanjutan dan memberikan dampak positif bagi lingkungan serta menjadi potensi baru untuk sumber daya manusia.

Pendekatan *CE* dalam fesyen bertujuan untuk mengembangkan sistem tertutup yang lebih berkelanjutan untuk memperpanjang masa pakai dari pakaian dan mempertahankan nilai produk dan bahan selama mungkin. Ini berarti bahwa semua bahan akan didaur ulang dalam beberapa putaran. Produk dirancang untuk dimasukkan ke dalam sistem di mana semua aspek mendukung sirkularitas. Desain aslinya perlu memperhitungkan beberapa siklus hidup. Bahan-bahan perlu mengalir dalam sistem dan limbah harus dikumpulkan dan dihargai sebagai bahan yang berharga untuk daur ulang dan pemulihan bahan. Semua produk harus dikumpulkan kembali setelah masa manfaatnya berakhir. Langkah-langkah kebijakan dapat mendorong pengembangan menuju jalur ini dengan menerapkan prinsip-prinsip *EPR (Extended Producer Responsibility)*.⁶ Dengan demikian, memilih untuk mengembangkan *CE* berarti mengambil perspektif baru tentang sistem fesyen yang berkelanjutan, di mana semua pihak dilibatkan kedalamnya, seperti desainer, produsen, pemasok, pelaku bisnis, dan bahkan konsumen. Model yang cukup mewakili untuk sektor fesyen disajikan pada Gambar 1.

Model pada Gambar 1 tersebut dikembangkan oleh RSA (*Royal Society for the Encouragement of Arts*). Model ini membangun sistem empat tingkat sebagai berikut:

1. Konsumen, dimana bertujuan untuk memperpanjang fase penggunaan produk.
2. Para retailer dan para pelaku bisnis baru untuk memperluas atau mengintensifkan penggunaan produk *recycle*.
3. Para produsen dengan membawa cara baru yang mampu memperpanjang waktu penggunaan produk melalui remanufaktur.
4. Para akademisi dan peneliti yang berkonsentrasi pada pencarian dan pengembangan metode dalam pemulihan material, menggunakan limbah untuk memproduksi serat dan benang baru.

Jenis kolaborasi baru diperlukan untuk membuat semua orang tertarik. Desainer, peneliti, industri, perusahaan, pengguna, dan pembuat kebijakan semua diperlukan untuk membuat jaringan baru dan sistem baru. Pada Tabel 1 dapat dilihat pedoman untuk desain dalam *circular economy*.



Gambar 1. Model dari *Circular Economy* Pada Industri Tekstil dan Pakaian Jadi (Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, “Great Recovery” programme, 2013)

Tabel 1. Design Guideline in Circular Economy¹⁰

DESIGN	KEY STAKEHOLDER	IMPACT
Design for quality and long-term use	Business, Users	Extending the lifecycles, aesthetical aging, product satisfaction
Emotional Design	Users	Slowing consumption through deep product satisfaction and person-product attachment
Design for easy repair, reuse and redesign	Business, Users	New business models (e.g. services)
Design within new business models (e.g. swapping, second-hand business, PSS, renting, leasing)	Business, Users	Extending or intensifying the use
Design from recycled materials	Industry, Business	Creating demand for recycled materials
Avoid harmful, toxic chemicals and substances	Industry	Supporting CE system
Design for recycling (easy disassembly or made from mono-materials, recycling all materials and chemicals in a closed loop manner)	Industry, Policy	Creating CE system
Design for transformation	All	New paradigm

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dibuat suatu *review* langkah-langkah apa yang perlu dilakukan untuk membuat desain baru dalam *circular economy*.

METODE

Metode yang digunakan dalam *review* penelitian ini adalah teknik *grafting*. Proses *grafting* dilakukan dengan dua cara, yaitu daur ulang dengan cara mekanik dan daur ulang dengan cara kimia yang diregenerisasi. Metode ini diangkat oleh konsorsium desainer, ilmuwan material, ilmuwan sosial, dan mitra industri yang tergabung dalam *Trash2Cash*, yang berkolaborasi untuk membuat bahan baru berkualitas tinggi dari limbah tekstil dan garmen.

Bahan

Pada proses daur ulang secara mekanis, bahan dipilih, dipotong, rusak, digaruk, dan dipintal menjadi benang baru. Dengan proses ini, kualitas benang tidak setinggi dengan bahan *virgin* sehingga jika diinginkan hasil dengan kualitas cukup tinggi perlu ditambahkan material *virgin* nya (misal *virgin cotton* untuk material yang berasal dari *recycled denim*) (Anne Palme, 2017). Salah satu contoh hasil dari *grating* secara mekanik ini bisa dijumpai pada produk handuk yang dibuat dari limbah denim berbahan kapas 100%. Contoh lain misalnya pada kain non woven yang berfungsi sebagai insulasi dan *Reborn Jeans* yang memiliki karakteristik yang sama dengan produk jeans yang diproses menggunakan *virgin cotton* (ibid, Trash2Cash, 2020).

Proses

Grating dengan cara kimia yang diregenerasi dibagi kedalam tiga proses, yaitu regenerasi selulosa, De Re Polimerisasi pada poliester, dan *upgrading* perpanjangan rantai polimer. Prinsip proses daur ulang secara regenerasi kimia, termasuk di dalamnya pengaruh termal, bahan dikembalikan ke tingkat polimer dengan melarutkannya, dan setelah itu serat dibuat kembali (atau direproduksi). Salah satu contoh hasil dari *grating* dengan regenerasi selulosa ini bisa dijumpai pada produk kemeja yang diberi nama O'Shirt, sebuah kemeja berwarna biru muda sebagai efek tidak dilakukannya proses *bleaching* pada saat proses pretreatment benangnya. Pengurangan proses *bleaching* ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan air, energi, serta zat kimia yang kurang ramah terhadap lingkungan (ibid, Trash2Cash, 2020). Untuk contoh hasil De Re Polimerisasi Team *Trash2Cash* memberi nama *R³Coat*, yaitu jas hujan yang dibuat dari material plastic PVC atau karet sintesis yang sulit untuk didaur ulang. Dengan mengubah PVC menjadi bentuk polimer dasarnya, material ini diubah menjadi benang dan ditenun menjadi kain yang diaplikasikan sebagai jas hujan. Sedangkan untuk contoh hasil dari *upgrading* perpanjangan rantai polimer, Team *Trash2Cash* menyadari bahwa interior mobil masa depan harus bisa menggunakan bahan daur ulang dan dapat didaur ulang kembali dalam produksi mereka. Teknologi yang diaplikasikan pada pembuatan plastik interior otomotif berkualitas tinggi tersebut, yaitu dengan menggunakan pelet plastik daur ulang, bahan tekstil daur ulang, dan resin yang dapat didaur ulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu fokus dalam *CE* adalah mendukung kegiatan dalam konteks lokal dan regional yang lebih banyak daripada dalam ekonomi linier. Limbah lebih baik ditangani secara lokal daripada dengan diangkut jarak jauh ke sisi lain dunia. Penggunaan kembali, pembaruan, dan modifikasi dapat dicapai secara lebih fleksibel dalam jarak dekat, dan dengan cara ini kegiatan tersebut mendukung ekonomi lokal. Banyak kegiatan dalam *CE* berorientasi padat karya dan dapat menciptakan dorongan baru di tingkat ekonomi mikro dan makro.¹¹ Dengan memikirkan kembali cara memproduksi, bekerja, dan membeli, kita dapat menghasilkan peluang baru dan menciptakan lapangan kerja baru (UE,2015), memberikan masa depan yang positif untuk diikuti. WRAP memperkirakan bahwa perubahan ke arah sirkularitas dapat menghasilkan hingga 3 juta pekerjaan baru di UE pada tahun 2030.¹⁴ Pemikiran yang mampu memperluas, mengintensifkan penggunaan, menggunakan kembali, mendesain ulang, memulihkan limbah telah menunjukkan penggunaan sumber daya yang lebih sedikit, melestarikan air dan lingkungan, kemudian berakhir dengan penggunaan karbon yang rendah, menggunakan energi lebih sedikit dan penggunaan *virgin* material yang lebih sedikit pula.¹¹

Menurut WRAP (2012), usia rata-rata pakaian di Inggris adalah 2,2 tahun.¹³ Dari angka pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa sedikit saja perubahan dari perilaku konsumen mampu memberikan efek yang cuup besar. Misalnya, penghematan 9% dalam limbah berarti 150.000 ton sampah di Inggris saja.

Tabel 2. Pengaruh Perpanjangan Masa Pakai dari Produk Pakaian Jadi¹³

EXTENDING THE USE WITH	CARBON SAVING	WATER SAVING	WASTE SAVING
10% = 3 months	8%	10%	9%
33% = 9 months	27%	33%	22%

Pada Tabel 3 menunjukkan perbandingan antar *linear economy* dengan *circular economy* sebagai berikut:

Tabel 3. Perbandingan Hasil yang Diperoleh Antara *Linear Economy* dengan *Circular Economy*

No	Faktor yang Diperhatikan	<i>Linear Economy</i> (Konvensional)	<i>Circular Economy</i>
1	Sumber Daya	Sebagian besar sektor industri ini menggunakan sumber daya yang tidak sustainable dimana penggunaan bahan kimia sangat besar untuk menghasilkan serat, mewarnai, dan proses finishing serat dan tekstil, termasuk minyak untuk menghasilkan serat sintesis, pupuk untuk menanam kapas	Suatu produk dirancang untuk memiliki siklus hidup yang lebih panjang dan dapat terurai secara hayati (<i>biodegradable</i>). Dengan demikian, setelah fase penggunaan, produk akan berlanjut dalam siklus teknis atau biologis.
2	Limbah	Pabrik tekstil sebagai pendukung terbesar industri pakaian jadi menjadi kontributor terbesar dalam pencemaran lingkungan, dimana limbah yang dihasilkan tidak diolah dengan benar	Mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam dan pencegahan timbulnya limbah
3	Efisiensi dan Masa Pakai Suatu Produk	Membuang-buang material berharga dalam jumlah besar, misalnya air dan energi yang dibutuhkan untuk pembuatan suatu produk terbuang sia-sia jika masa pakai produk sangat singkat	Semua bahan akan didaur ulang dalam beberapa siklus, Bahan-bahan perlu mengalir dalam sistem dan limbah harus dikumpulkan dan dihargai sebagai bahan yang berharga untuk daur ulang dan pemulihan bahan,
4	Sistem Fesyen	Menghasilkan sistem fesyen yang jenuh dan berlebihan, merasa tidak perlu melakukan kolaborasi dengan banyak pihak	Sistem fesyen yang berkelanjutan, di mana semua pihak dilibatkan kedalamnya, seperti desainer, produsen, pemasok, pelaku bisnis, peneliti dan bahkan konsumen
5	Tujuan Berbisnis	Tujuan utama adalah mencari keuntungan sebesar-besarnya	Tujuan utama bukan hanya mencari profit yang sebesar-besarnya tetapi juga menjaga lingkungan hidup disekitarnya

KESIMPULAN

Circular economy adalah fenomena yang muncul dan benar-benar akan mengubah sistem mode. Perusahaan dan desainer di garis depan akan memimpin transformasi industri *fashion*. Di sisi lain, desainer, perusahaan kecil, dan pelaku bisnis dapat menunjukkan cara alternatif menuju masa depan yang lebih berkelanjutan. *Grating* hanya salah satu proses yang dilakukan untuk mendukung berjalannya sistem *circular economy* dan dalam pelaksanaannya membutuhkan perspektif yang sistemik dan kolaborasi yang erat antara pemangku kepentingan yang berbeda. Dapat disimpulkan bahwa transformasi menuju sirkularitas memerlukan kreativitas, cara berpikir, dan bertindak yang baru, jaringan yang baru, kolaborasi yang besar, dan eksperimen yang berani.

DAFTAR PUSTAKA

1. Armstrong, C., Niinimäki, K. & Lang, *Towards design recipes to curb the clothing carbohydrate binge*, 2016, Design journal. Vol.19:1, pp. 159–181
 2. Baker-Brown, D, *Resource Matters*. In: Baker-Brown, D. (Ed), 2017, The re-use atlas. London, Riba, pp. 7–15
 3. EMF Ellen MacArthur Foundation, *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*, 2017, Ellenmacarthurfoundation
 4. Kant, R, *Textile dyeing industry: An environmental Hazard*, 2012, Natural science. Vol. 4:1, p. 23
 5. Niinimäki, K, *From Disposable to Sustainable. The Complex Interplay Between Design and Consumption of Textiles and Clothing*, 2011, Doctoral dissertation, Helsinki: Aalto University.
 6. Niinimäki, K (Ed), *Sustainable Fashion: New Approaches*, 2013, Helsinki . Aalto ARTS Books .
 7. Niinimäki, K, *Knowing Better, But Behaving Emotionally: Strong Emotional Undertones in Fast Fashion Consumption*, 2018b, In: Becker-Leifhold
 8. Pijpker, J, *Hoe H&M van zijn kledingberg afkomt*, 2018, NRC Weekend.
 9. Runnell, A , *Reverse Resources . Lecture in Seminar 'Fashion In a Circular Economy'- Seminar*, 2017, Aalto ARTS, Helsinki, Finland.
 10. Sanders, EB, *Is Sustainable Innovation An Oxymoron? In: Stebbing, P . & Tischner, U . (Eds .) . Changing Paradigms: Designing for a Sustainable Future*, 2015, Mumbai . Cumulus Think Tank / Aalto University, pp. 296–301
 11. Stahel, W, *Preface*. In: Baker-Brown, D. (Ed), *The re-use atlas*, 2017. London, Riba, pp, xiii–xviii
 12. *Tras2Cash, Life Cycle Thinking*, 2020, European Union
 13. WRAP, *Valuing our clothes: The true cost of how we design, use and dispose of clothing in UK*, 2012, WRAP Report, London UK
 14. WRAP, *WRAP's vision for the UK circular economy to 2020*, 2015. WRAP Report, London UK
-

SIMULASI AUDIT TEKNOLOGI DI INDUSTRI DENIM PT. X

TECHNOLOGY AUDIT SIMULATION IN DENIM INDUSTRY PT. X

Eva Novarini, Silvani Olival Alif

Balai Besar Tekstil
Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung, Jawa Barat 40272, Telp. (022) 7206215
E-mail: bbt@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Audit Teknologi Industri adalah cara untuk melakukan identifikasi kekuatan dan kelemahan aset teknologi (*tangible and intangible asset*). Audit ini merupakan pelaksanaan manajemen teknologi yang bertujuan agar manfaat teknologi dapat dirasakan sebagai faktor yang penting untuk meningkatkan mutu dan meningkatkan daya saing industri. Simulasi audit teknologi di PT. X yang bergerak di bidang industri denim ini bertujuan untuk meningkatkan performa perusahaan. Rekomendasi yang disampaikan dalam laporan audit ini bersifat tidak mengikat/sukarela. Area audit yang disepakati di PT. X meliputi Divisi Pengharian, Divisi Pewarnaan dan Penganjian serta Divisi Penyempurnaan. Pengumpulan data dilakukan dengan metode telaah dokumen, wawancara dan observasi. Data tersebut kemudian dianalisa dengan membandingkan kondisi aktual dengan standar kerja di masing-masing unit proses.

Kata kunci: audit teknologi, industri tekstil, denim, daya saing

ABSTRACT

Industrial Technology Audit is a way to identify the strengths and weaknesses of technology assets (tangible and intangible assets). This audit is an implementation of technology management that aims to make the benefits of technology an important factor in improving quality and increasing industrial competitiveness. Technology audit simulation at PT. X, which is engaged in the denim industry, aims to improve the company's performance. The recommendations conveyed in this audit report are voluntary. The agreed audit area at PT. X includes the warping area, the dyeing and sizing area and the finishing area. The data were collected by means of document review, interview and observation. The data is then analyzed by comparing the actual conditions with the working standards in each process unit.

Keywords: technology audit, textile industry, denim, competitiveness

PENDAHULUAN

Kinerja industri, khususnya dari sisi produktivitas dapat dipengaruhi oleh ketepatan dan efisiensi teknologi yang digunakan. Oleh karena itu, penting bagi industri untuk mengetahui sejauh mana tingkat efisiensi dan performa dari teknologi yang mereka adopsi. Audit teknologi industri dalam hal ini merupakan suatu perangkat untuk menilai kekuatan dan kelemahan suatu teknologi agar industri dapat mengelolanya dengan baik sehingga manfaat teknologi mampu dirasakan dan pada akhirnya membawa peningkatan daya saing bagi industri tersebut.¹

Berdasarkan Peraturan Kepala BPPT No. 007/2017, audit teknologi industri memiliki 6 (enam) tujuan yaitu meningkatkan kinerja, efektivitas dan efisiensi (*performance improvement*), menilai kesesuaian dengan standar, prosedur maupun rencana dan kebutuhan (*compliance*), mengidentifikasi risiko dan mencegah kerugian akibat penggunaan teknologi (*prevention*), mengidentifikasi status, daya saing atau kemampuan teknologi yang dimiliki (*positioning*), merencanakan pengembangan sistem teknologi dan memperbaiki kelemahan (*planning*) dan mencari serta mengetahui fakta mengenai suatu peristiwa akibat teknologi yang berimplikasi pada keselamatan atau keamanan (*investigasi*).² Dalam audit teknologi industri ini, hasil kinerja suatu teknologi ditentukan oleh 4 (empat) komponen teknologi yang saling berkaitan, yaitu *technoware* (fasilitas fisik yang meningkatkan tenaga dan kemampuan manusia), *humanware* (manusia dengan keterampilan atau keahlian), *infoware* (dokumen tertulis maupun elektronik) dan *orgaware* (prosedur dan struktur organisasi yang terimplementasi).

PT. X yang berlokasi di kawasan Jawa Barat menjadi salah satu objek audit teknologi industri yang diadakan Puslitbang Industri Kimia, Farmasi, Tekstil, Logam, Mesin, Alat Transportasi dan Elektronika (IKFTLMATE) Kementerian Perindustrian tahun 2019. Perusahaan ini merupakan industri tekstil yang bergerak di bidang produksi kain denim. Menurut Textile Terms and Definition, kain denim didefinisikan

sebagai kain twill/keper dengan anyaman 3/1 yang terbuat dari benang lusi yang diwarnai dan benang pakan yang tidak diwarnai.³ Konstruksi kain denim umumnya adalah 32×19 ; 45×54 tex; 310 g/m². Benang lusi pada kain denim diwarnai oleh zat warna indigo yang kemudian dikenal dengan istilah ring dyed effect.⁴ Istilah ini mengacu pada kondisi dimana setelah pewarnaan hanya bagian luar dari benang lusi yang terwarnai, sedangkan bagian inti benang tetap tidak terwarnai sehingga jika diamati penampang melintangnya terlihat menyerupai bentuk cincin. Proses fabrikasi kain denim ini memiliki perbedaan yang cukup jelas dengan proses fabrikasi kain tenun kapas berwarna lainnya. Dalam proses fabrikasi kain denim, terdapat beberapa tahapan krusial yang berpengaruh terhadap kualitas akhir kain diantaranya yaitu proses penghanian (*warping*), pewarnaan (*dyeing*), penganjian (*sizing*) dan proses penyempurnaan (*finishing*). Tahapan-tahapan ini pun kemudian dijadikan sebagai subjek audit teknologi pada PT. X.

Audit teknologi yang dilakukan pada kali ini memiliki tujuan utama untuk meningkatkan performa PT. X. Meski audit teknologi industri yang dilakukan ini masih bersifat sukarela, namun diharapkan kegiatan ini dapat berdampak pada peningkatan kapabilitas produksi/operasi PT. X dalam hal keahlian, pengetahuan dan sumber daya perusahaan sehingga proses produksi dapat dijalankan secara lebih efisien dibanding sebelumnya, dengan keluaran kualitas yang lebih baik. Proses audit teknologi industri di PT. X ini diawali dengan menyusun Rencana Audit Teknologi (pre-audit) yang meliputi tujuan, ruang lingkup, waktu dan alokasi sumber daya. Tahapan selanjutnya adalah pelaksanaan audit (on site audit) dan yang terakhir adalah tahapan analisis temuan dan pelaporan (post audit). Pada tulisan ini akan dipaparkan lebih lanjut mengenai ketiga tahapan dalam simulasi proses audit teknologi industri tersebut dengan subyek audit yang telah disepakati bersama PT. X yaitu pada proses penghanian (*warping*), pewarnaan (*dyeing*), penganjian (*sizing*), dan proses penyempurnaan (*finishing*).

METODE

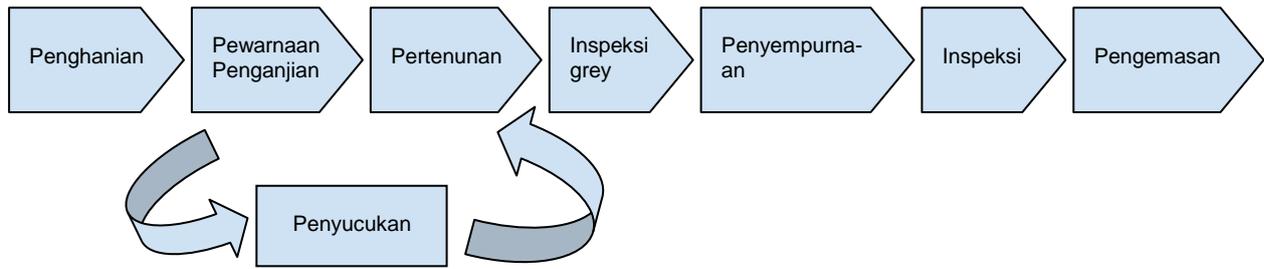
Audit teknologi industri ini dilaksanakan di industri denim PT. X yang terletak di kawasan Jawa Barat. PT. X selanjutnya disebut sebagai Klien dan Auditee, karena audit ini berupa audit sukarela atau voluntary berdasarkan keinginan sendiri atas anjuran pelaksana audit teknologi. Auditor teknologi berasal dari Tim Auditor Kementerian Perindustrian yang dibantu oleh Tim Tenaga Ahli dari Balai Besar Tekstil, yang selanjutnya disebut sebagai Auditor. Tahapan simulasi audit teknologi yang dilaksanakan di PT. X adalah sebagai berikut :^{5,6,7,8,9}

1. Menyusun Rencana Audit Teknologi, dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.
 - a. Mempelajari profil bisnis dan profil teknologi Auditee;
 - b. Menentukan kriteria dan acuan yang akan digunakan pada audit teknologi;
 - c. Menyusun pemetaan profil teknologi Auditee, yang meliputi jenis/tahapan proses, elemen kontrol, parameter kontrol, risiko, *key performance indicator* dan *best practice*;
 - d. Melakukan *preliminary assessment* dan menyusun protokol audit teknologi.
2. Melaksanakan kegiatan audit, dengan langkah-langkah sebagai berikut ini.
 - a. Melakukan tinjauan ke lapangan khususnya Divisi yang dijadikan subjek audit;
 - b. Melakukan pengumpulan data melalui telaah dokumen seperti prosedur kerja, struktur organisasi, sumber daya manusia dan informasi fasilitas yang digunakan;
 - c. Melakukan pengumpulan data melalui wawancara tanya jawab langsung antara Auditor dengan pendamping maupun penanggung jawab masing-masing Divisi.
3. Menganalisis temuan dan melakukan pelaporan.
 - a. Mengolah data dari telaah dokumen, hasil wawancara dan temuan saat tinjauan langsung ke lapangan;
 - b. Membandingkan temuan-temuan yang diperoleh dengan kriteria dan acuan yang telah ditetapkan untuk kemudian dilakukan *gap analysis*;
 - c. Menyusun rekomendasi berdasarkan hasil temuan dengan menyesuaikan terhadap target dan tujuan audit teknologi yang diinginkan perusahaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyusunan Rencana Audit Teknologi

Dalam penyusunan Rencana Audit Teknologi, mempelajari profil bisnis dan teknologi dari Klien atau Auditee merupakan langkah awal untuk menentukan tujuan, target dan protokol audit yang akan dilakukan. Secara singkat dapat dijelaskan bahwa PT. X merupakan industri tekstil dengan ijin usaha pembuatan kain denim berbahan kapas 100%, dengan waktu operasional 5 hari kerja dan 3 shift @ 8 jam. Proses produksi di PT. X terbagi ke dalam beberapa unit kerja seperti yang dapat dilihat sesuai diagram alir proses berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir proses produksi di PT. X

Berdasarkan profil bisnis dan teknologi dari PT. X, Auditor kemudian menyusun kriteria dan acuan berdasarkan referensi dari Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia, Standar Nasional Indonesia dan persyaratan mutu yang ditetapkan internal PT. X sebagai berikut ini.

1. Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI)
 - a. SKKNI Melakukan Pencelupan Benang Dengan Zat Warna Indigo Metode Kontinyu Menggunakan Mesin Looptex, Kode Unit C.13FIN04.016.2
 - b. SKKNI Melakukan Penyempurnaan Anti Mengkeret Kain Menggunakan Mesin Sanforizing, Kode Unit C13.FIN06.015.2
 - c. SKKNI Melakukan Pembakaran Bulu Pada Kain Menggunakan Mesin Bakar Bulu, Kode Unit C.13FIN03.008.2
2. Standar Nasional Indonesia (SNI), SNI 0560:2008 *Kain kapas denim 100%*
3. Persyaratan Mutu Internal
 - a. Kondisi putus benang < 5 kali per 5 juta yard pada proses pengharian
 - b. SNI 0279:2013 *Tekstil - Cara uji daya serap bahan tekstil* sebesar < 1 menit pada persiapan penyempurnaan
 - c. Nilai beda warna: 1 dan standar deviasi kerataan warna < 1 pada proses pewarnaan
 - d. Kejadian putus benang 1 kali per 500 yard dan satu set kurang dari 3 lot pada proses penganjian
 - e. Nilai mengkeret/susut kain denim maksimum sebesar 3% setelah proses penyempurnaan sanforizing

Dengan melihat profil bisnis, profil teknologi serta kriteria dan acuan yang dimiliki perusahaan, maka ditetapkan tujuan, target dan ruang lingkup audit teknologi industri di PT. X sebagaimana yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penetapan Tujuan, Target dan Ruang Lingkup Audit Teknologi PT. X

Tujuan	Target	Ruang Lingkup
Meningkatkan performa perusahaan (<i>performance improvement</i>)	<ul style="list-style-type: none"> → Menemukan solusi permasalahan yang kerap terjadi → Meningkatkan efektivitas dan efisiensi pada proses produksi maupun penggunaan bahan baku dan penolong pada Divisi yang termasuk dalam ruang lingkup audit → Meningkatkan kualitas produk → Melakukan identifikasi potensi yang belum termanfaatkan → Melakukan perencanaan perbaikan berkelanjutan 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Divisi Pengharian (<i>warping</i>) ❖ Divisi Pewarnaan dan Penganjian (<i>dyeing and sizing</i>) ❖ Divisi Penyempurnaan (<i>finishing</i>)

Berikut ini adalah deskripsi untuk tiap Divisi berikut protokol audit teknologi industri yang akan dilaksanakan pada bagian tersebut.

1. Divisi Pengharian (*warping*)

Pengharian (<i>warping</i>) adalah proses memindahkan benang lusi dari paket kemasan individual seperti <i>cones</i> atau <i>cheese</i> ke dalam	Elemen Kontrol	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kualitas benang yang terdiri dari: Nomor benang, kekuatan, mulur, snarling, warna, mutu campuran serat (jika ada) 2. Tegangan/<i>tension</i> gulungan dan benang,
---	----------------	---

bentuk gulungan tunggal secara paralel pada beam/balok hani.		kg/cm ² 3. Kecepatan gulungan 4. Jumlah helai benang (<i>total end</i>)
	Parameter Kontrol	1. Toleransi: Nomor benang (Ne1): 2,5 % ($\pm 0,2$); Kekuatan/mulur: - 5%; <i>Snarling</i> : 0,5; Warna: putih kapas; Mutu serat: ada/tidak ada kontaminasi 2. Tegangan gulungan: keratan tegangan pada seluruh bagian gulungan 3. Kecepatan gulungan : kerataan <i>tension</i> benang
	Risiko	1. Penurunan kualitas/ <i>grade</i> kain 2. Putus benang saat pewarnaan 3. Ketidakrataan hasil pewarnaan 4. Tegangan gulungan tidak rata menyebabkan gulungan gembos
	KPI	Putus benang per 5 juta yard
	Best Practice	Putus benang ≤ 5 kali per 5 juta yard
	Kebutuhan Data	1. Dokumen kejadian putus benang (Data proses penghanian) 2. Dokumen CoA dari penyuplai benang 3. Dokumen analisa laboratorium untuk pengujian benang

2. Divisi Pewarnaan dan Penganjian (*dyeing and sizing*)

<p>Pewarnaan (<i>dyeing</i>) adalah proses pewarnaan benang lusi menggunakan zat warna indigo pada mesin <i>beam dyeing</i></p> <p>Penganjian (<i>sizing</i>) adalah proses pelapisan kanji pada benang lusi untuk memperkuat benang agar tidak mudah putus terkena gesekan-gesekan mekanik dan tarikan pada saat proses pertunanan</p>	Elemen Kontrol	1. Resep dan kondisi proses pemasakan benang sebelum pewarnaan (pH, <i>wet pick up</i> /WPU, kecepatan jalannya benang, pemasukan/ <i>feeding</i> zat pemasak, homogenitas larutan, pemasangan <i>beam</i> lusi pada mesin, kekerasan/ <i>hardness</i> rol pemeras/ <i>padding</i>) 2. Resep dan kondisi pewarnaan sesuai syarat yang ditetapkan perusahaan (pH, <i>wet pick up</i> /WPU, kadar reduktor alkali/ORP, kecepatan jalannya benang, pemasukan/ <i>feeding</i> zat pewarna, homogenitas larutan, kekerasan/ <i>hardness</i> rol pemeras/ <i>padding</i> , pH larutan pencucian) 3. Kondisi proses penganjian (viskositas, refraksi, kecepatan, tekanan rol, kekerasan/ <i>hardness</i> rol, temperatur silinder pengering)
	Parameter Kontrol	1. Proses pemasakan: pH 10-12 atau 7-8; WPU 60%, kecepatan 15-18 yds/menit; <i>feeding</i> zat 5 liter/menit; homogenitas sesuai instruksi kerja; beam lusi sejajar lurus pada mesin; <i>hardness</i> rol 70-80%.

		<ol style="list-style-type: none"> Proses pewarnaan: pH 11.3-11.8; ORP - 720 s/d 750mV; WPU 60%; kecepatan 15-18 yds/menit; keteraturan <i>feeding</i> zat warna dan reduktor sesuai syarat perusahaan; <i>hardness</i> rol 70-80%; pH larutan pencucian 8,8-9,8. Proses penganjian : kekentalan 5-10 detik menggunakan <i>visco cup</i>; refraksi sesuai standar; kecepatan 15-18 yds/menit; temperatur silinder pengering 90-120°C; tekanan rol 3,5-4 Bar, <i>hardness</i> rol 70-80%.
	Risiko	<ol style="list-style-type: none"> Proses pemasakan tidak sempurna akan mengurangi daya serap kain Ketidakrataan dan ketidaksesuaian warna akibat kesalahan dalam proses pewarnaan Ketidaksempurnaan penganjian mengakibatkan benang berbulu dan benang terlalu basah sehingga sulit untuk ditenun
	KPI	<ol style="list-style-type: none"> Efisiensi pada proses pemasakan Ketuaan dan kerataan warna sesuai dengan target mutu Jumlah putus benang maksimum 1 helai per 250 yard
	Best Practice	<ol style="list-style-type: none"> Daya serap benang setelah pemasakan < 1 menit (SNI 0279 : 2013) Nilai beda warna hasil pewarnaan maksimum 1 dan standar deviasi kerataan warna ≤ 1
	Kebutuhan Data	<ol style="list-style-type: none"> Hasil pengujian daya serap Form resep dan penggunaan bahan kimia pewarnaan Data analisis ketuaan dan beda warna hasil pewarnaan Data pemasukan/<i>feeding</i> larutan pemasakan dan larutan pewarnaan serta reduktor Alur proses pewarnaan Data contoh benang sebelum proses Data putus benang per <i>beam</i> Dokumen kalibrasi

3. Divisi Penyempurnaan (*finishing*)

<p>Pada Divisi ini terdapat 3 proses yaitu pembakaran bulu (<i>singeing</i>), pelembutan (<i>softening</i>) dan sanforisasi</p> <p>Pembakaran bulu (<i>singeing</i>) adalah proses menghilangkan bulu-bulu di permukaan kain</p>	Elemen Kontrol	<ol style="list-style-type: none"> Proses pembakaran bulu: keseragaman permukaan antar sambungan kain; keseragaman tegangan kain; kebersihan rol sikat; kecepatan kain; kerataan, tinggi dan warna api; kondisi <i>exhaust fan</i> Proses pelembutan: resep larutan pelembut; <i>wet pick up</i> (WPU); tekanan
---	----------------	---

<p>yang timbul akibat gesekan-gesekan mekanik dan peregangan pada proses pertununan</p> <p>Pelembutan (<i>softening</i>) adalah proses melembutkan kain menggunakan pelembut dari jenis surfaktan kationik agar kain menjadi lebih fleksibel dan pegangan lebih lembut</p> <p>Sanforisasi adalah proses pemengkeretan kompresif dengan menekuk kain ke arah lusi menggunakan <i>belt</i> karet dan silinder palmer agar kain memiliki stabilitas dimensi yang baik</p>		<p>rol; temperatur silinder pengering</p> <p>3. Proses sanforisasi : keseragaman permukaan antar sambungan kain; temperatur uap dan ukuran <i>steam spray</i> pada unit <i>vapour chamber</i>; lebar kain dan kecepatan <i>tenter</i>; tekanan silinder pada <i>belt</i> karet; temperatur silinder rol; temperatur, tegangan dan kecepatan pada silinder palmer</p>
	Parameter Kontrol	<p>1. Proses pembakaran bulu: keseragaman permukaan kain; sikat bersih untuk mencegah kebakaran; kecepatan kain 30-50 yds/menit bergantung gramasi; kerataan dan tinggi api homogen serta api berwarna biru; <i>exhaust fan</i> berfungsi baik.</p> <p>2. Proses pelembutan kain: resep larutan sesuai standar perusahaan; WPU 60-70%; tekanan rol 0,5-4 Bar; temperatur silinder pengering 100-130°C.</p> <p>3. Proses sanforisasi : keseragaman permukaan kain; temperatur uap dan ukuran <i>steam spray</i> sesuai instruksi kerja; kestabilan lebar kain, kecepatan unit <i>tenter</i> dan kestabilan tekanan silinder sesuai instruksi kerja; temperatur sesuai tekanan steam 1-2,5 Bar; kecepatan kain pada silinder palmer 30-50 yds/menit.</p>
	Risiko	<p>1. Proses pembakaran bulu: lebar kain tidak sesuai syarat mutu; permukaan kain masih berbulu; cacat gosong pada kain; potensi kebakaran</p> <p>2. Proses pelembutan: <i>moisture regain</i> tidak sesuai; gangguan kompresi pada saat sanforisasi</p> <p>3. Proses sanforisasi : susut/ mengkeret kain tidak sesuai syarat mutu; cacat lipatan kain; kadar <i>moisture regain</i> terlalu tinggi</p>
	KPI	Permukaan kain, lebar kain, susut kain dan <i>moisture regain</i> sesuai syarat mutu.
	Best Practice	Kenampakan permukaan kain rata secara visual; lebar kain sesuai syarat mutu; <i>moisture regain</i> 10-30% setelah proses pelembutan; mengkeret kain maksimum 3%; <i>moisture regain</i> 1-5% setelah sanforisasi
	Kebutuhan Data	<p>1. <i>Logsheet</i> proses pembakaran bulu</p> <p>2. <i>Logsheet</i> proses pelembutan</p> <p>3. <i>Logsheet</i> proses sanforisasi</p> <p>4. Dokumen kalibrasi</p>

Pelaksanaan Audit Teknologi

Data dan temuan fakta pada audit teknologi ini diperoleh melalui tinjauan langsung ke lapangan, telaah dokumen dan wawancara dengan pendamping dan penanggung jawab Divisi terkait. Dalam hal ini, Tim Auditor melaksanakan tugas dengan berpegang pada prinsip integritas, objektivitas, kerahasiaan dan kompetensi. Data dan temuan fakta audit pada empat aspek teknologi, yaitu *Technoware*, *Humanware*, *Orgaware* dan *Infoware* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data dan Temuan Fakta *Technoware*, *Humanware*, *Orgaware* dan *Infoware* PT. X

Divisi Penganhian (Warping)			
<i>Technoware</i>	<i>Humanware</i>	<i>Orgaware</i>	<i>Infoware</i>
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Unit produksi memiliki 3 (tiga) unit mesin penganhian ❖ Sensor putus benang dan alat ukur berfungsi dengan baik serta dilakukan kalibrasi berkala ❖ Terjadi permasalahan putus benang yang tidak sesuai target capaian KPI ❖ Inkonsistensi kualitas <i>output</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Penanggung jawab dan personel pelaksana telah memahami dan menjalankan tugasnya sesuai dengan instruksi kerja yang ditetapkan 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Target capaian pada untuk masing-masing <i>key performance indicator</i> (KPI) telah ditetapkan 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Instruksi kerja ❖ Data setelan kondisi proses dan rekaman kondisi aktual proses ❖ Dokumen rencana pemantauan dan pengukuran kinerja (KPI) ❖ Acuan perhitungan untuk proses penganhian ❖ Data dan jadwal pemeliharaan berkala mesin ❖ Data rekapitulasi putus benang per 5 juta yard ❖ Dokumen CoA dari penyedia benang ❖ Hasil uji mulur benang setelah proses penganhian
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Alat ukur massa, tekanan, temperatur, kecepatan, pH dan kadar reduktor yang terpasang maupun yang tidak terpasang pada mesin telah terkalibrasi dan terverifikasi secara berkala ❖ Metode pengukuran viskositas kurang memberikan hasil yang akurat ❖ Terjadi abnormalitas dan inkonsistensi pada kualitas hasil pewarnaan ❖ Tidak ditemukannya acuan kontrol pada proses pemasukan bahan kimia ❖ Tidak ditemukannya pemeriksaan berkala pada ketepatan posisi poros rol-rol dan bantalan penghantar benang 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Penanggung jawab dan personel pelaksana telah memahami dan menjalankan tugasnya sesuai dengan instruksi kerja yang ditetapkan ❖ SKKNI Melakukan Pencelupan Benang Dengan Zat Warna Indigo Metode Kontinyu Menggunakan Mesin Looptex, Kode Unit C.13FIN04.016.2 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Target capaian pada untuk masing-masing <i>key performance indicator</i> (KPI) telah ditetapkan 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Pedoman dan instruksi kerja ❖ Dokumen rencana pemantauan dan pengukuran kinerja (KPI) ❖ Data setelan kondisi proses dan rekaman kondisi aktual proses ❖ Data capaian untuk masing-masing KPI ❖ Data putus benang dan hardness beam ❖ Data dan jadwal pemeliharaan berkala mesin ❖ Data temuan kondisi abnormal ❖ Daftar alat ukur ❖ Jadwal dan data pelaksanaan kalibrasi/verifikasi alat ukur
❖ <i>Hardness</i> atau tingkat	❖ Penanggung jawab	❖ Target capaian	❖ Pedoman dan instruksi

Divisi Penghanian (Warping)			
<i>Technoware</i>	<i>Humanware</i>	<i>Orgaware</i>	<i>Infoware</i>
kekerasan rol-rol karet pada mesin sanforisasi telah diukur secara berkala ❖ Terjadi abnormalitas dan inkonsistensi pada kualitas hasil penyempurnaan ❖ Tidak ditemukannya acuan kontrol pada proses pemasukan bahan kimia, khususnya pada proses pelembutan kain ❖ Tidak ditemukannya pemeriksaan berkala pada ketepatan posisi poros rol-rol dan bantalan penghantar kain ❖ Alat ukur <i>hardness</i> /kekerasan rol karet tidak dikalibrasi secara berkala	dan personel pelaksana telah memahami dan menjalankan tugasnya sesuai dengan instruksi kerja yang ditetapkan ❖ SKKNI Melakukan Penyempurnaan Anti Mengkeret Kain Menggunakan Mesin Sanforizing, Kode Unit C13.FIN06.015.2 ❖ SKKNI Melakukan Pembakaran Bulu Pada Kain Menggunakan Mesin Bakar Bulu, Kode Unit C.13FIN03.008.2	pada untuk masing-masing <i>key performance indicator</i> (KPI) telah ditetapkan	kerja ❖ Dokumen rencana pemantauan dan pengukuran kinerja (KPI) ❖ Data capaian untuk masing-masing KPI ❖ Data setelan kondisi proses dan rekaman kondisi aktual proses ❖ Data dan jadwal pemeliharaan berkala mesin ❖ Data temuan kondisi abnormal ❖ Daftar alat ukur ❖ Jadwal dan data pelaksanaan kalibrasi/verifikasi alat ukur ❖ Laporan pemeriksaan retur kain ❖ Data <i>hardness</i> rol <i>padder</i> mesin bakar bulu ❖ Data pemakaian blanket mesin sanforisasi

Analisis Data, Temuan Fakta dan Penyusunan Rekomendasi

Berdasarkan data dan temuan fakta dari pelaksanaan audit yang diperoleh melalui tinjauan langsung ke lapangan, telaah dokumen dan wawancara, maka disusunlah analisis dan rekomendasi audit sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Analisis yang ditampilkan berupa penelaahan terhadap masalah yang paling krusial yang terjadi di Divisi terkait di PT. X.

Tabel 3. Analisis Masalah dan Rekomendasi

Divisi Penghanian (Warping)		
Temuan	Analisis Penyebab Masalah	Rekomendasi
Angka putus benang yang melebihi target capaian KPI dan kualitas output tidak konsisten	❖ Tingkat kekerasan beam tenun tidak seragam. Kekerasan <i>beam</i> yang terlalu tinggi dapat menyebabkan tegangan benang saat pertununan tinggi sehingga benang akan mudah putus. Jika terlalu longgar, benang akan sulit ditarik, mudah kusut dan putus. ❖ Kondisi penyimpanan yang kurang memenuhi syarat. Benang kapas jika disimpan di tempat yang lembab dan dalam waktu yang lama dapat mengalami degradasi kekuatan	❖ Melakukan pemeriksaan tegangan gulungan benang secara berkala ❖ Memperbaiki kondisi penyimpanan benang, salah satunya dengan memberlakukan sistem FIFO (<i>first in first out</i>) ❖ Menerapkan <i>Good House Keeping</i>
Abnormalitas dan inkonsistensi pada kualitas hasil pewarnaan dan penganjian	❖ Abnormalitas yang terjadi berupa beda warna dan kerataan warna benang yang tidak sesuai target capaian KPI. Penyebab permasalahan pada proses pewarnaan kemungkinan adalah adanya	❖ Mengevaluasi penggunaan jenis bahan kimia untuk proses pemasakan agar proses lebih efisien dengan hasil yang lebih baik

Divisi Pengharian (<i>Warping</i>)		
Temuan	Analisis Penyebab Masalah	Rekomendasi
	<p>ketidaksempurnaan proses pemasakan/penghilangan kotoran sebelum proses pewarnaan; tidak konsistennya kontrol terhadap parameter proses seperti pH larutan pewarna, kadar reduktor, homogenitas larutan dan kestabilan posisi poros rol-penghantar</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Abnormalitas pada proses penganjian adalah output kanji lengket atau kanji getas. Penyebab permasalahan pada proses penganjian kemungkinan adalah inkonsistensi kadar kanji karena pengukuran viskositas yang tidak akurat; proses pengeringan yang tidak tepat sehingga lapisan kanji terlalu kering hingga menjadi getas atau kanji masih basah sehingga menjadi lengket 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Melakukan kontrol ketat pada tiap parameter proses ❖ Melakukan pengukuran ketepatan posisi poros rol secara berkala ❖ Mengganti metode pengukuran viskositas dengan metode yang lebih akurat ❖ Memperhatikan kondisi ruangan produksi terutama kadar kelembabannya karena kanji yang digunakan jenis higroskopis yang mudah menarik air ❖ Menerapkan <i>Good House Keeping</i>
Abnormalitas dan inkonsistensi pada kualitas hasil penyempurnaan	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Abnormalitas pada proses pembakaran bulu kemungkinan besar disebabkan oleh cacat gosong atau kain yang masih tampak berbulu akibat proses pembakaran bulu yang tidak sempurna ❖ Abnormalitas pada proses sanforisasi adalah ditemukannya cacat gelombang pada pinggiran kain yang kemungkinan disebabkan oleh tekanan rol yang tidak merata 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Mengatur kembali setelan proses pembakaran bulu ❖ Melakukan pemeriksaan berkala terhadap keakuratan posisi poros setiap rol dan silinder pada proses sanforisasi ❖ Melakukan kalibrasi berkala pada alat ukur ❖ Menerapkan <i>Good House Keeping</i>

Audit teknologi merupakan mekanisme untuk mendeteksi dan mencegah terjadinya penyimpangan dalam hal empat aspek teknologi seperti peralatan dan mesin, sumber daya manusia, organisasi serta informasi. Lingkungan audit haruslah interaktif dimana melibatkan komunikasi yang baik antara pihak *Auditor* dan *Auditee* sehingga inti permasalahan mudah diketahui dan dicari solusi penyelesaiannya.¹⁰ Pada audit teknologi yang dilakukan di PT. X komunikasi dan kerjasama antara pihak *Auditor* dan *Auditee* terjalin cukup baik sehingga data dan temuan fakta mudah diperoleh. Aspek *Technoware* merupakan aspek yang memiliki banyak temuan dibanding ketiga aspek teknologi lainnya. Aspek *Technoware* ini memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap tidak tercapainya target perusahaan berdasarkan *key performance indicator* (KPI) yang telah ditentukan. Dengan kata lain, perusahaan dalam hal ini PT. X perlu memberikan perhatian yang lebih pada aspek ini agar tujuan utama peningkatan performa dapat dicapai. Pada aspek *Humanware*, personel yang terkait dengan produksi baik sebagai penanggung jawab maupun personel pelaksana lapangan masing-masing telah memahami dan menjalankan tugasnya sesuai dengan instruksi kerja yang ditetapkan perusahaan. Para personel juga telah memiliki kompetensi sesuai dengan standar kompetensi berlaku. Untuk aspek *Orgaware*, perusahaan telah menetapkan target capaian sesuai *key performance indicator* (KPI) berdasarkan kriteria dan acuan yang ditentukan oleh perusahaan. Perusahaan juga telah menyusun suatu struktur organisasi yang cukup efektif dan efisien dalam unjuk kerjanya. Ditinjau dari aspek *Infoware*, perusahaan telah memiliki dokumen kerja, jadwal pemeliharaan dan kalibrasi serta rekapitulasi data kualitas *output* untuk masing-masing divisi yang telah terekam dengan baik.

Tujuan awal dilakukannya audit teknologi di PT. X adalah untuk peningkatan performa unit produksi perusahaan. Setelah pelaksanaan audit teknologi, Auditor menghasilkan beberapa rekomendasi yang diharapkan dapat menysasar target tujuan yang hendak dicapai, misalnya ditemukannya solusi terhadap beberapa permasalahan yang sering terjadi, adanya potensi peningkatan efektivitas dan efisiensi pada proses produksi maupun penggunaan bahan baku atau bahan penolong; adanya potensi peningkatan kualitas produk dengan melakukan beberapa perbaikan pada proses yang dinilai bermasalah seperti perubahan metode

pengukuran dan investasi pada alat ukur maupun sensor. Untuk rencana perbaikan berkelanjutan, pada tahap awal Auditor merekomendasikan kepada Auditee untuk melakukan penerapan *Good House Keeping*.

Pelaksanaan audit teknologi di lokus PT. X ini merupakan langkah awal dari seluruh rangkaian audit teknologi, dimana untuk mengetahui dan menjamin kualitas dari pelaksanaan audit maka diperlukan monitoring dan evaluasi atas aktivitas audit yang telah dilaksanakan. Audit teknologi ini bukanlah merupakan upaya untuk mencari kesalahan, namun bagian dari mata rantai prinsip “PDCA - Plan (Perencanaan) - Do (Pelaksanaan) - Check (Evaluasi) - Action (Perbaikan)” dalam hal Check atau evaluasi.

KESIMPULAN

Audit teknologi industri telah dilaksanakan di industri denim PT. X dengan beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan profil bisnis dan teknologi yang telah dipelajari, maka ditetapkan tujuan audit teknologi berupa peningkatan performa unit produksi khususnya pada Divisi Penghanian (*Warping*), Divisi Pewarnaan dan Penganjiaan (*Dyeing and Sizing*) dan Divisi Penyempurnaan (*Finishing*);
2. Aspek *Technoware* merupakan aspek dengan temuan abnormalitas terbanyak dibanding ketiga aspek lainnya (*Humanware, Orgaware, Infoware*) sehingga aspek ini memerlukan perhatian lebih dari perusahaan agar tujuan peningkatan performa yang diinginkan dapat dicapai;
3. Dari hasil audit yang telah dilakukan, Auditor memberikan sejumlah rekomendasi untuk solusi pada beberapa permasalahan seperti abnormalitas dan inkonsistensi kualitas yang kerap terjadi, potensi peningkatan efektivitas dan efisiensi proses, bahan baku dan bahan penolong serta peningkatan kualitas produk, dan saran awal untuk perbaikan berkelanjutan melalui penerapan *Good House Keeping*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Undang-undang Republik Indonesia No. 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian.
2. Peraturan Kepala Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi No. 007a Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Audit Teknologi.
3. Mc Intyre, Daniels, *Textile Terms and Definitions*, CRC Press, First Edition, 1995.
4. Roshan, Paul, *Denim: Manufacture, Finishing and Applications*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 2015.
5. Kellesidis, Vassilis, *Technology Audit*, Tessaloniki Technology Park, 2000.
6. Anonymous. *Technical Bulletin: Denim Fabric Manufacturing*. Cotton Inc., NC, USA, 2004.
7. Broadbent, A.D., *Basic Principles of Textile Coloration*. Society of Dyers and Colourists, Bradford, 2001.
8. Chakraborty, J.N., Chavan, R.B., *Dyeing of denim with indigo*. *Indian Journal Fibre Textile Research*. 29, 100–109, 2004.
9. Gordon, S., Hsieh, Y.-L., *Cotton: Science and Technology*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 2007.
10. Deshmukh, Ashutosh, *The Role of Audit Technology and Extension of Audit Procedures in Strategic Auditing*, *International Journal of Applied Quality Management*, Vol. 2, No. 2, pages 187 - 209, Elsevier, 1999.

POTENSI SERAT BIDURI (*Calotropis gigantea*) SEBAGAI BAHAN BAKU BENANG PADA PROSES SISTEM PEMINTALAN KAPAS

POTENTIAL OF BIDURI (*Calotropis gigantea*) FIBER AS A RAW MATERIAL FOR YARN IN COTTON SPINNING SYSTEM PROCESS

Doni Primadi, Saeful Islam, M. Danny Sukardan

Balai Besar Tekstil, Jl. Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung,
Telepon: 022-7206214, Fax: 022 7271288
E-mail: bbt@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Serat biduri diperoleh dari biji buah tanaman biduri (*Calotropis gigantea*) yang banyak ditemui di wilayah Indonesia. Berdasarkan karakteristiknya seperti kehalusan, panjang dan indeks keseragaman serat, serat biduri memiliki potensi menjadi benang yang dipintal pada proses sistem pemintalan kapas. Namun serat biduri memiliki friksi permukaan serat yang rendah sehingga untuk dipintal menjadi benang harus dicampur dengan serat lainnya. Walaupun ada usaha-usaha untuk meningkatkan friksi permukaan serat dengan metode kimia dan plasma, tetapi belum dapat memintal benang dari serat biduri 100%. Sebagai contoh serat biduri dapat dicampur dengan serat kapas, serat polyester, dan serat rayon viskosa dengan rasio campuran maksimal masing-masing 75:25, 50:50, dan 50:50. Semakin besar rasio serat biduri pada benang maka kualitas benang semakin turun, hal ini dibuktikan dengan nilai U% dan *yarn imperfection* benang semakin tinggi dan nilai kekuatan (*strength*) benang semakin rendah. Hal tersebut disebabkan friksi permukaan serat biduri yang rendah menyebabkan kohesi dan kekompakan serat kurang baik, sehingga mengakibatkan terjadinya *floating fiber* dan *lapping* di zona peregangan pada proses *drawing* dan *roving*. Namun dari hasil percobaan pembuatan benang dari serat biduri dan serat poliester dengan rasio campuran 50:50, nilai kekuatan benang yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan mutu benang *ring* tunggal kapas (SNI 08-0033-2006). Atas dasar hal tersebut di atas, serat biduri memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku benang. Namun demikian, untuk memperbaiki kualitas benang yang dihasilkan, diperlukan studi lebih lanjut untuk meningkatkan koefisien friksi permukaan serat biduri, kondisi pada proses pemintalan dan pemilihan serat yang akan dicampur.

Kata kunci: serat biduri, proses sistem pemintalan kapas, friksi serat, rasio campuran, kualitas benang

ABSTRACT

Biduri fiber is obtained from the seeds of the biduri plant (Calotropis gigantea) which are commonly found in Indonesia. Based on its characteristics such as fineness, length and fiber uniformity index, biduri fiber has the potential to become yarn spun in the cotton spinning system process. However, biduri fiber has low fiber surface friction so that to be spun into yarn it must be mixed with other fibers. Although there have been attempts to increase the surface friction of fibers by chemical and plasma methods, they have not been able to spin yarn from 100% biduri fiber. For example, biduri fiber can be mixed with cotton fiber, polyester fiber, and viscose rayon fiber with a maximum mixture ratio of 75:25, 50:50, and 50:50, respectively. The greater the ratio of biduri fiber to the yarn, the lower the yarn quality, this is evidenced by the higher the value of U% and yarn imperfection and the lower the value of yarn strength. This is due to the low surface friction of biduri fiber which causes poor fiber cohesion and cohesion, resulting in floating fiber and lapping in the stretch zone during the drawing and roving processes. However, from the results of the experiment on making yarn from biduri fiber and polyester fiber with a mixture ratio of 50:50, the resulting yarn strength has met the quality requirements for cotton single ring yarn (SNI 08-0033-2006). Therefore, biduri fiber has the potential to be used as raw material for yarn. However, to improve the quality of the yarn produced, further studies are needed to increase the surface friction coefficient of biduri fibers, the conditions in the spinning process and the selection of fibers to be blended.

Keywords: biduri fiber, cotton spinning system process, friction coefficient, mixed ratio, yarn quality

PENDAHULUAN

Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) di Indonesia sebagian besar masih menggunakan Serat kapas sebagai bahan baku. Namun ketersediaan bahan baku kapas masih menjadi kendala bagi Industri TPT. Saat ini lebih dari 98 persen pasokan bahan baku kapas masih dipasok melalui impor dari luar negeri, lantaran kualitas kapas lokal yang belum memenuhi standar yang dibutuhkan Industri TPT.¹ Hal tersebut sangat ironis,

mengingat Indonesia adalah negara di daerah khatulistiwa dengan iklim tropis, sehingga Indonesia memiliki tingkat keanekaragaman hayati (*biodiversity*) terbesar di dunia.¹ Sumber daya keanekaragaman hayati tersebut semestinya dapat dimanfaatkan untuk mensubsitisi bahan baku kapas pada industri TPT. Salah satu sumber daya hayati yang telah banyak diteliti oleh para peneliti dan memiliki prospek untuk menyubtitusi bahan baku tekstil, ialah tanaman *Calotropis gigantea*.²

Tanaman *Calotropis gigantea* dapat ditemui di wilayah Indonesia yang dikenal dengan nama biduri atau widuri.^{2,3} Tanaman biduri memiliki nama yang berbeda-beda di beberapa wilayah Indonesia, seperti Rubik, Biduri (Sunda, Madura); Lembega, Rembega, Rumbigo (Sumatera); Badori, Widuri, Saduri, Sidoguri, Burigha (Jawa); Manori, Maduri (Bali); Muduri, Rembiga, Kore, Krokoh, Modo, Kapauk, Modo Kampauk (Nusa Tenggara), dan Rambega (Sulawesi).¹ Selain di wilayah Indonesia, tanaman ini terdapat di beberapa negara di kawasan Asia Tenggara dan Asia Selatan, Amerika Serikat, Amerika Selatan, serta Afrika dengan nama lain, seperti *Mikweed* (Amerika), Mudar (India), dan Rux (Thailand).^{2,4}

Tanaman biduri adalah tanaman perdu dengan tinggi ± 3 meter, tanaman ini berbuah untuk pertama kali setelah tanaman berusia 6 bulan, dan selanjutnya buah dapat dipanen secara berkala (harian atau mingguan) serta tidak mengenal musim (Gambar 1).² Sekali panen tanaman biduri menghasilkan 300 buah/pohon, dengan rendemen 8,9% dari berat kering buah (rata-rata 4,59 gram), maka dapat diperoleh 122,55 gram serat/pohon/bulan.² Apabila dalam satu hektar dapat ditanami 2500 pohon maka dapat diperoleh serat sebesar 306,38 kg/bulan/Ha.² Tanaman biduri di Indonesia banyak ditemukan di daerah yang memiliki curah hujan yang kecil, seperti padang rumput yang kering dan pantai berpasir.² Sehingga tidak terlalu sulit apabila dibudidayakan, karena tidak membutuhkan air yang banyak.

Tanaman ini memiliki prospek yang besar dalam menghasilkan serat di Indonesia, sebagai contoh, tanaman biduri yang ada di Provinsi Jawa Timur memiliki jumlah total lahan sebesar 425.831 hektar,³ dengan total luas lahan sebesar itu, dapat diperkirakan serat biduri yang dihasilkan kurang lebih sebanyak 130,5 juta ton per bulan. Dengan melihat prospek sebesar itu, tanaman biduri berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia.



Gambar 1. Pohon, Buah, Biji dan Serat Biduri⁵

Tanaman biduri selama ini banyak digunakan untuk obat,^{2,3,5} namun ternyata serat biduri telah lama digunakan sebagai bahan baku tekstil di Indonesia. Wellfelt (2014) telah melakukan suatu kajian penggunaan serat biduri sebagai bahan baku tekstil dari tradisi menenun oleh para wanita lokal di Pulau Alor Provinsi Nusa Tenggara Timur.⁶ Produk yang dibuat oleh masyarakat Alor berupa kain tradisional yang dinamakan “Sarong”, kain ini dibuat dari campuran serat kapas dan serat biduri.⁵ Penggunaan serat biduri pada awalnya digunakan karena penenun kekurangan bahan baku serat kapas, lalu serat biduri dipilih oleh masyarakat lokal.⁶ Serat ini dipilih oleh masyarakat setempat karena serat biduri mempunyai ‘rasa’ seperti sutera (silky feel) seperti lembut dan berkilau, sehingga serat ini juga dikenal dengan nama “Kolon Susu”, selain itu serat ini juga dianggap memiliki kekuatan yang baik.⁶ Dengan demikian, serat biduri memiliki prospek untuk digunakan sebagai bahan baku tekstil secara masif.

Sebagai bahan baku tekstil, beberapa penelitian melaporkan serat biduri dapat dipintal menjadi benang dengan metode proses sistem pemintalan kapas.^{4,7,8,9} Karena serat biduri memiliki friksi permukaan yang rendah,¹ maka benang yang dibuat belum dapat dipintal seluruhnya dari serat biduri 100%, namun masih harus dicampur dengan serat lainnya seperti serat kapas, serat poliester dan serat rayon viskosa. Walaupun beberapa penelitian juga melakukan beberapa perlakuan pada serat biduri baik melalui metoda kimia maupun plasma agar friksi permukaan serat meningkat, namun masih diperlukan campuran serat lain untuk dipintal menjadi benang.^{8,10}

Berdasarkan keterangan di atas, serat biduri memiliki potensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan benang yang diproses menggunakan sistem pemintalan kapas. Oleh karena itu, diharapkan serat biduri dapat menjadi alternatif sebagai substitusi bahan baku serat untuk pembuatan benang yang berasal dari Indonesia.

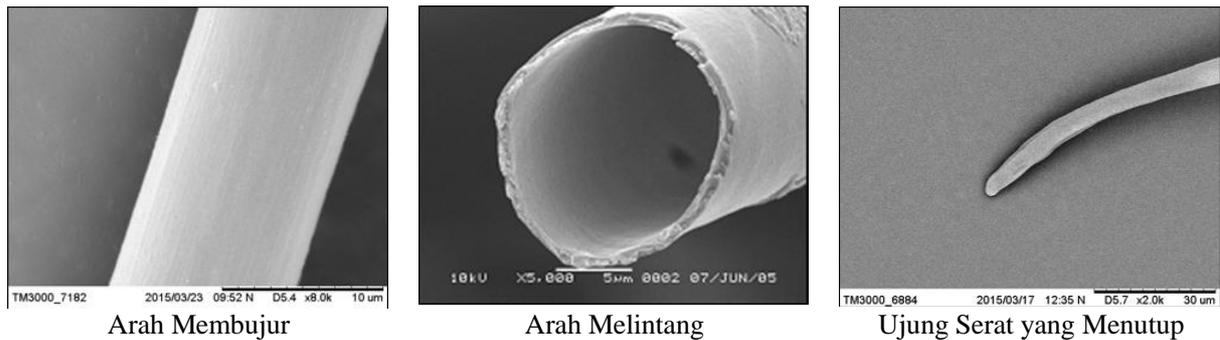
KARAKTER SERAT BIDURI

Serat biduri diperoleh dari biji buah tanaman biduri, serat ini adalah serat selulosa yang memiliki komposisi kimia seperti terlihat pada Tabel 1. Serat biduri memiliki kadar selulosa lebih rendah serta kadar hemiselulosa dan lignin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan serat kapas. Kadar selulosa serat biduri yang lebih rendah dibandingkan serat kapas mengakibatkan hasil kerataan dan ketahanan luntur warnanya lebih rendah ketika serat diberi warna dengan menggunakan zat warna reaktif.¹¹

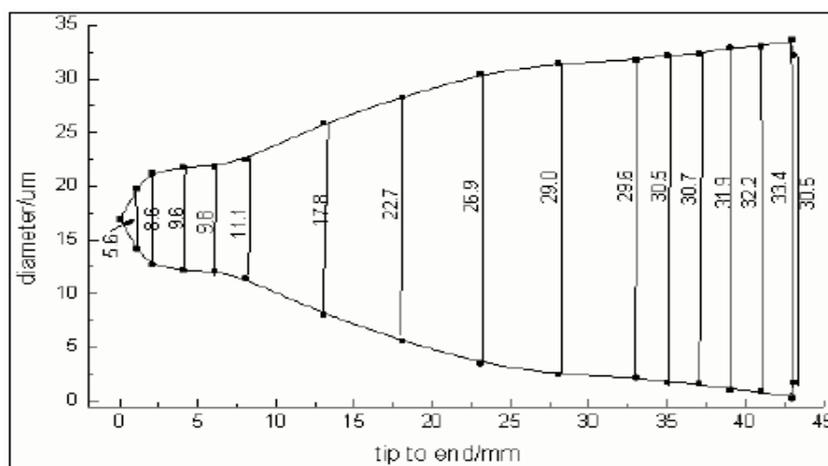
Tabel 1. Komposisi Kimia Serat Biduri^{2,4,12}

Jenis	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Abu (%)
Biduri ²	66,52-71,62	36,03	13,45-14,08	4,17
Biduri ⁴	55	24	18	1-2
Biduri ¹²	49	20	20	-
Kapas ⁴	85-90	-	0,7-1,6	

Dengan adanya kandungan lignin yang tinggi, serat biduri bersifat hidrofobik, oleofilik, dan permukaannya licin.⁴ Permukaan serat yang licin dapat dibuktikan dengan melihat morfologi serat biduri secara membujur menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM), terlihat bahwa permukaan serat halus dan licin (Gambar 2). Sedangkan morfologi serat biduri secara melintang terlihat memiliki rongga (*hollow*) dengan ukuran diameter serat sebesar 30-50 μm (Gambar 2 dan 3), namun semakin ke ujung serat ukuran diameternya semakin mengecil sampai dengan ukuran 0 μm , sehingga rongga tersebut tertutup pada ujung serat (Gambar 2 dan 3).¹²



Gambar 2. Morfologi Serat Biduri¹²



Gambar 3. Sebaran Diameter Serat biduri¹²

Serat biduri memiliki volume *hollow* yang besar dalam serat yaitu sebesar 92,3 - 94,7% dari volume serat, kemudian tebal dinding serat sebesar 0,8 - 2 μm .² Dengan adanya saluran berongga (*hollow*) di sepanjang serat, maka serat biduri dapat merangkap udara atau uap air, sehingga memiliki kelembaban dan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapas,⁴ oleh karena itu serat ini dapat dimanfaatkan sebagai

insulasi termal, penyerap minyak, dan peredam suara.^{2,5} Serat ini telah digunakan sebagai pengisi jaket yang berfungsi sebagai insulasi termal untuk menggantikan bulu angsa.¹³ Selain itu serat ini juga dicampur dengan serat poliester dalam bentuk nirtunen (*nonwoven*) dan digunakan sebagai pengisi jaket yang juga berfungsi sebagai insulasi termal.⁵

Serat biduri memiliki berat jenis $0,97 \text{ g/cm}^3$ atau dibawah 1 g/cm^3 ,⁴ sehingga serat ini dapat mengapung di atas air serta memiliki prospek sebagai penyerap minyak di atas air.

Serat biduri memiliki kehalusan sebesar $2,02 \mu\text{m}$ dan $2,40 \mu\text{m}$,^{2,4} nilai tersebut lebih rendah atau lebih halus dari serat kapas, yaitu $2,70 \mu\text{m}$, $3,82 \mu\text{m}$, dan $5,35 \mu\text{m}$.² Semakin kecil nilai kehalusan serat maka serat tersebut semakin ringan dan memiliki kekuatan per berkas yang lebih tinggi.²

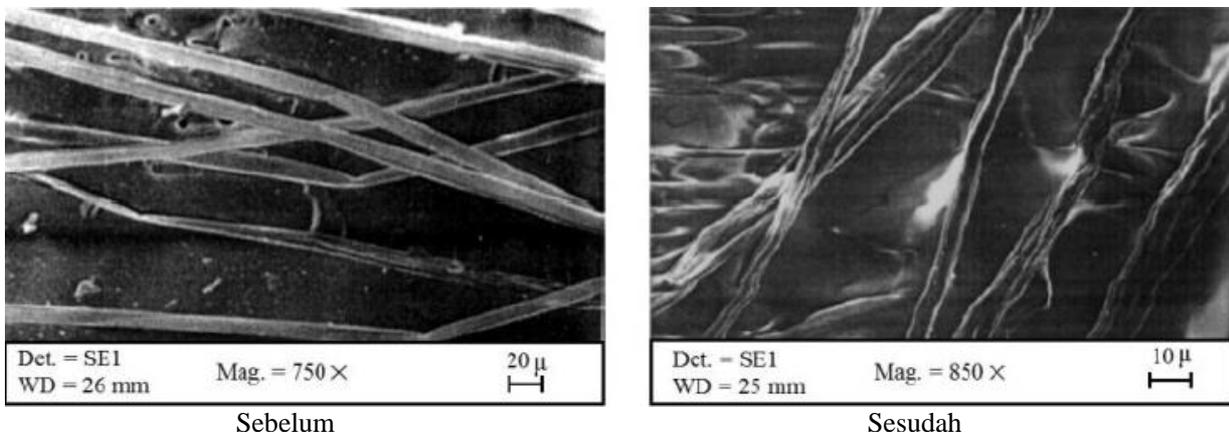
Sedangkan panjang serat biduri adalah $38,56 \text{ mm}$ atau lebih panjang apabila dibandingkan serat kapas yaitu $31,56 \text{ mm}$,¹³ sehingga serat biduri dapat diklasifikasikan sebagai serat panjang.¹⁴ Serat biduri memiliki keseragaman yang baik ini, hal ini dibuktikan dengan koefisien varian (CV%) panjang serat sebesar $11,79\%$ atau lebih rendah dari serat kapas $17,75\%$,¹³ kemudian Indeks keseragamannya lebih tinggi yaitu 84% jika dibandingkan serat kapas ($78,2\%$; $79,9\%$ dan $82,3\%$).² Selain itu Indeks serat pendek dari serat biduri memiliki nilai yang lebih kecil ($7,8\%$) dibandingkan serat kapas ($10,0\%$; $11,7\%$ dan $14,6\%$).²

Kekuatan serat biduri adalah $20,5 \text{ g/tex}$ atau lebih rendah dibandingkan serat kapas ($24,2 \text{ g/tex}$), sedangkan mulur serat biduri juga lebih rendah hampir 86% dibandingkan serat kapas.⁴ Hal tersebut disebabkan serat kapas memiliki kandungan selulosa ($95\%-98\%$) dan kristalinitas ($60\%-70\%$) yang lebih tinggi dibanding serat biduri, kemudian serat biduri memiliki rongga yang besar sehingga serat lebih mudah rapuh saat diregangkan, yang tentunya akan mengurangi kekuatan tarik dan mulurnya.¹³

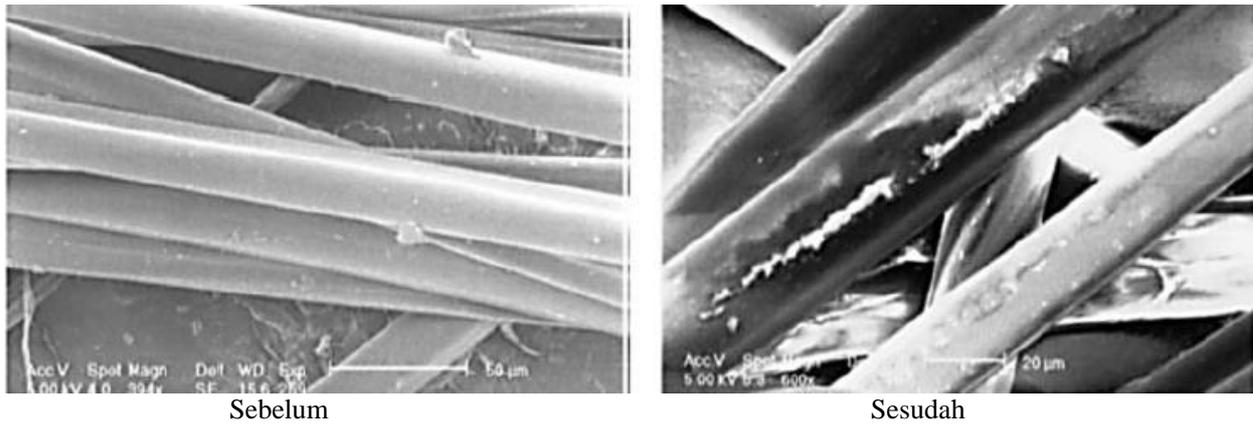
PENINGKATAN FRIKSI SERAT BIDURI

Dengan karakter serat biduri seperti tersebut di atas, serat ini memiliki potensi menjadi benang melalui proses sistem pemintalan kapas. Hampir semua penelitian yang telah dilakukan, sampai saat ini belum ada yang dapat membuat benang dengan bahan baku dari Serat biduri 100% , namun masih dicampur dengan serat lainnya.^{4,7,8,9} Serat ini memiliki permukaan yang licin dan halus sehingga friksi antar serat rendah, hal ini menyebabkan gaya kohesi antar serat menjadi rendah dan proses pemintalannya menjadi sulit. Untuk menambah friksi pada serat biduri, serat dimodifikasi permukaan serat secara kimia dengan perlakuan alkali, yaitu dengan larutan NaOH 5% selama 5 menit pada suhu kamar.⁷ Hasilnya terlihat pada Gambar 4 dengan menggunakan instrument SEM, hasil sebelum dan sesudah modifikasi kimia menunjukkan adanya 'belitan' di sepanjang serat yang akan meningkatkan friksi permukaan serat dan daya pinal (*spinnability*). Hasil dari nilai koefisien friksi (*friction coefficient* (μ)) Serat biduri yang diberi perlakuan alkali adalah $0,28 \mu$, (nilai koefisien friksi Serat biduri $0,16 \mu$), namun nilai tersebut masih di bawah nilai koefisien friksi serat kapas ($0,33 \mu$).⁸

Gharehaghaji dan Hayat-Davoodi (2007) melaporkan metode lainnya untuk meningkatkan friksi permukaan serat biduri dengan menggunakan metode plasma dingin, dengan menggunakan gas nitrogen selama 15 menit dengan daya dan tekanan tertentu.¹⁰ Hasilnya kekasaran permukaan serat biduri meningkat seperti terlihat pada Gambar 5, hal tersebut akan meningkatkan friksi permukaan serat.¹⁰ Namun penggunaan metode plasma tersebut dapat mengurangi kekuatan dan mulur serat karena adanya retakan pada permukaan serat. Kekuatan serat setelah plasma turun menjadi $1,9 \text{ cN/dtex}$ dari $3,056 \text{ cN/dtex}$, sedangkan mulur serat setelah plasma menjadi 2% dari $2,2\%$.¹⁰



Gambar 4. Efek Pemberian Perlakuan NaOH 5% terhadap Permukaan Serat Biduri¹⁰



Gambar 5. Efek Perlakuan Plasma terhadap Permukaan Serat Biduri⁴

Pemberian perlakuan untuk meningkatkan friksi permukaan serat biduri di atas belum dapat menciptakan benang dengan bahan baku 100% dari serat biduri. Hal tersebut dikarenakan nilai koefisien friksi permukaan serat yang dihasilkan belum cukup dapat meningkatkan kohesi serat, sehingga dalam pembuatan benang dari serat biduri, serat ini masih harus dicampur dengan serat lainnya.

PEMBUATAN BENANG DARI SERAT BIDURI

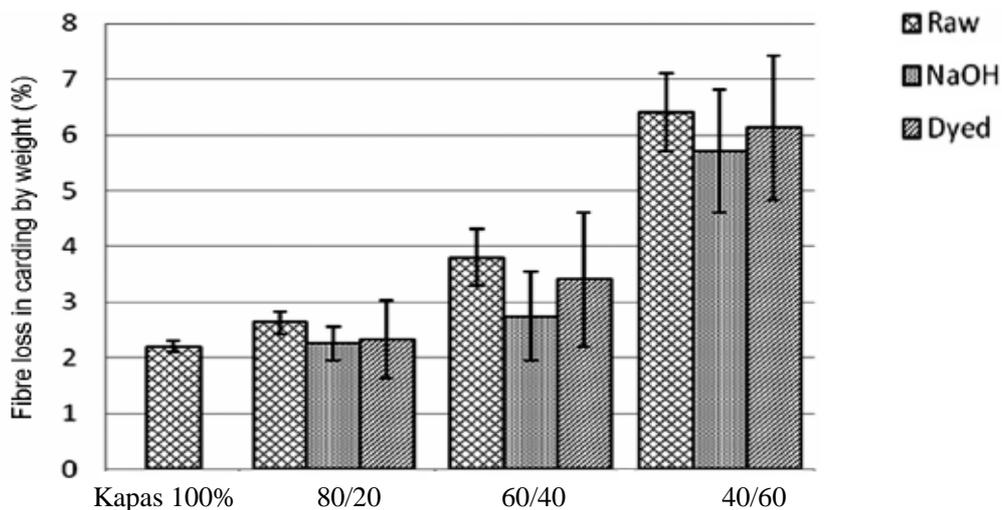
Dengan karakter serat yang licin dan ringan, terdapat beberapa hambatan yang terjadi pada saat proses pemintalan dalam pembuatan benang serat biduri. Hambatan-hambatan tersebut diantaranya adalah pada saat proses penguraian serat di mesin *carding* serat cenderung akan membentuk *neps*, kemudian pada saat proses pelurusan dan pensejajaran serat di mesin *drawing* akan terjadi *floating fiber*, sedangkan pada proses pembuatan *roving* memiliki potensi terjadi putus benang di mesin *roving/simplex*, hal tersebut juga terjadi pada saat pembuatan benang baik di mesin *ring spinning* atau *open end*.² Oleh karena itu, untuk mengurangi hambatan-hambatan tersebut serat biduri dicampur dengan serat lainnya, contohnya adalah serat kapas dan serat sintetis.⁴

Rasio serat biduri yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat campurannya menyebabkan lebih banyak kesulitan selama proses pemintalan.⁴ Selain itu diteliti pula tentang banyaknya kehilangan berat serat selama proses pemintalan, dengan bertambahnya rasio Serat biduri pada serat kapas maka persentase kehilangan berat serat akan lebih besar karena kohesi antar serat yang lebih rendah (Tabel 2).

Tabel 2. Berat Serat yang Hilang pada Proses pemintalan⁴

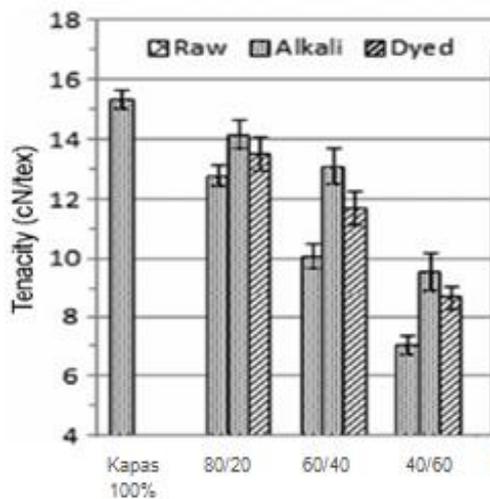
Rasio Serat Kapas dan Biduri (%)	Proses <i>Opening/Blending</i> (%)	Proses <i>carding</i> (%)	Proses <i>drawing</i> (%)	Jumlah(%)
100/0	0,0	6,8	3,9	10,4
75/25	0,8	13,3	6,5	19,6
67/33	1,0	18,0	2,2	20,6

Kemudian Karthik & Murugan (2016) melaporkan kehilangan berat serat pada proses *carding*. Serat yang diproses pada laporan tersebut dengan membandingkan serat biduri yang ditingkatkan nilai koefisien friksinya menggunakan metode alkali dan pencelupan serat (*dyeing of fibers*), serat biduri yang tidak diberi perlakuan dan serat kapas.⁸ Adapun nilai koefisien friksi dari masing-masing serat tersebut adalah 0,28 μ ; 0,22 μ ; dan 0,16 μ , dan 0,33 μ .⁸ Seluruh serat biduri baik yang diberi perlakuan ataupun tidak diberi perlakuan lalu dicampur dengan serat kapas dengan rasio serat kapas dan serat biduri masing-masing 80/20, 60/40, dan 40/60.⁸ Dengan peningkatan rasio campuran serat biduri pada proses *carding* terdapat peningkatan kehilangan serat, dimana jumlah kehilangan serat terbanyak pada rasio serat biduri sebesar 60% (Gambar 6). Dari data tersebut, serat biduri yang tidak diberi perlakuan paling banyak kehilangan berat serat karena dengan friksi serat yang tinggi akan meningkatkan kohesi antar serat dan mengurangi kehilangan berat serat dalam proses *carding*.



Gambar 6. Kehilangan Serat pada Proses *carding*⁸

Lebih lanjut melaporkan kekuatan benang dari serat biduri dengan perlakuan alkali dan *dyed* memiliki kekuatan (*tenacity*) yang lebih baik pada setiap variasi rasio serat (Gambar 7).⁸ Adapun Sakthivel, dkk. (2005) melaporkan hasil proses pemintalan serat biduri yang telah mendapatkan perlakuan alkali dan dicampur serat kapas dengan nomor benang Ne₁ 30^s dengan rasio 75/25 memiliki kekuatan yang lebih rendah (30,7 gram/tex (30,1 cN/tex)) jika dibandingkan serat kapas 100% (34,5 gram/tex (33,8 cN/tex)) dan memiliki mulur yang lebih tinggi (7,2%) dari benang serat kapas 100% (7,0%).¹⁵ Dari kedua eksperimen tersebut menjelaskan bahwa nilai koefisien friksi serat berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan benang yang dihasilkan.



Gambar 7. Grafik Kekuatan Benang Kapas dan Benang Serat Kapas/Biduri⁸

Sakthivel dan Ghosh (2009) melaporkan pembuatan benang Nomor Benang Ne 30^s dari serat biduri yang tidak diberi perlakuan untuk meningkatkan friksi serat (*raw material*) yang kemudian dicampur dengan serat kapas dengan rasio 75/25, 66/33, 50/50 dan 33/66.⁷ Adapun hasil dari kualitas benang campuran tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

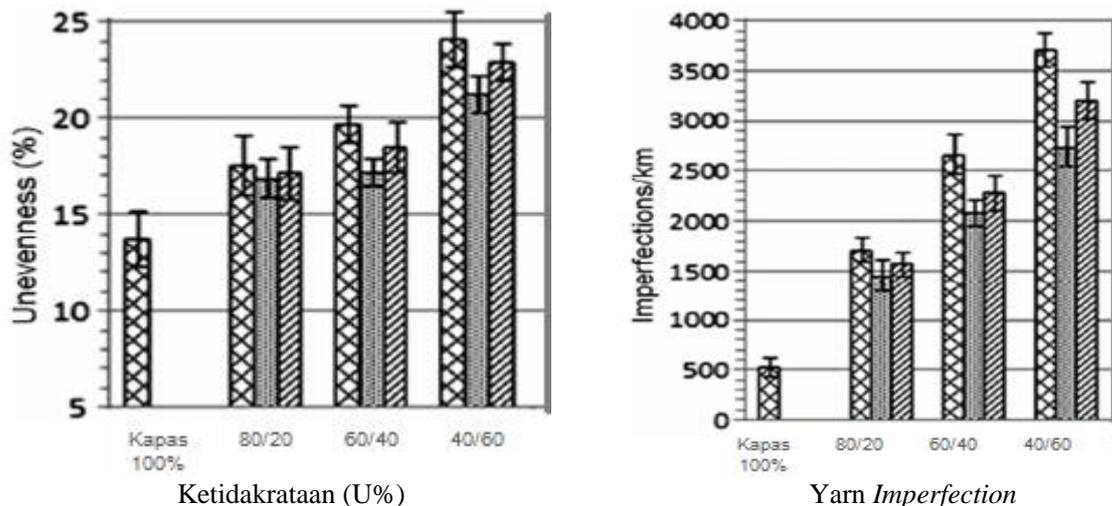
Tabel 2. Kekuatan (*Tenacity*) dan *Breaking Elongation* Benang Serat Biduri dan Kapas⁷

Komposisi Campuran Serat biduri dan Serat kapas	Tenacity (cN/tex)	Breaking Elongation (%)
75/25	14,1	7,2
67/33	14,8	6,4
50/50	14,6	6,7
33/67	14,9	7,1
0/100	16,0	7,0

Tabel 2 menggambarkan kekuatan benang campuran serat biduri dan kapas dengan berbagai variasi rasio serat menunjukkan kekuatan benang masih di bawah serat kapas 100%. Saktivhel dan Ghosh (2009) juga melaporkan dalam proses pembuatan benang serat biduri dan serat kapas tersebut pada proses pemintalan harus dilakukan dengan kecepatan produksi yang lebih rendah, sehingga produktivitasnya pun menjadi rendah.⁷

Nilai ketidakseragaman (U%) dan ketidaksempurnaan (*yarn imperfection*) meningkat seiring dengan peningkatan komposisi serat biduri dalam benang, hal ini disebabkan pada saat proses pelurusan dan pensejajaran serat di zona peregangan terjadi *floating fiber* karena friksi antar serat yang rendah.^{2,8} Hal tersebut juga terjadi karena nilai kehalusan serat biduri yang rendah sehingga terdapat potensi terjadinya putus benang pada saat proses pembuatan *roving* di mesin *roving/simplex* maupun saat pembuatan benang di mesin *ring spinning*.² Sehingga hal tersebut mengakibatkan benang terdapat *thick place* dan *thin place*,⁸ dan ini berkorelasi dengan penurunan kekuatan benang. Sedangkan jumlah *neps* pada benang yang tinggi terjadi dari sliver yang dihasilkan pada proses *carding*.²

Keterangan di atas dibuktikan dengan nilai U% campuran serat biduri dan kapas (75/25), yaitu 19,2% atau lebih tinggi jika dibandingkan dengan benang dari serat kapas 100% (12,5%).⁷ Untuk *yarn imperfection* berupa tebal (*thick place*), tipis (*thin place*), dan *neps* (kekusutan serat) pada benang menunjukkan bahwa campuran serat biduri dan kapas (75/25) memiliki jumlah *thick place* sebanyak 1142, *thin place* 935 dan *neps* 1951 atau lebih banyak dari benang serat kapas 100% dengan jumlah jumlah *thick place* sebanyak 400, *thin place* 75, dan *neps* 550.⁷ Sedangkan untuk nilai U% dan *yarn imperfection* benang campuran serat biduri dan serat kapas yang dilaporkan oleh Karthik & Murugan (2016),⁸ untuk serat biduri yang diberi perlakuan dengan alkali dan *dyed* nilainya lebih baik jika dibandingkan dengan serat yang tidak diberi perlakuan (Gambar 8). Perlakuan kimia (alkali dan *dyed*) dapat meningkatkan friksi serat dan meningkatkan kekompakan dan kohesi antar serat untuk mengurangi *floating fiber* pada zona peregangan benang, sehingga mengurangi U% dan *yarn imperfection* pada benang.⁸



Gambar 8. Grafik U% dan Yarn Imperfection Benang Kapas dan Benang Serat Biduri/Kapas⁸

Selain dicampur dengan serat kapas, serat biduri dapat dicampur dengan jenis serat sintetis, contohnya adalah serat poliester. Serat poliester adalah serat sintetis yang sifat-sifat fisiknya dapat diatur sedemikian rupa sesuai penggunaan yang diinginkan, sehingga kerataan dan keseragaman serat lebih terkontrol. Parmara, Bahl dan Rao (2014) melaporkan benang campuran serat biduri dengan serat poliester dengan komposisi 33/67 dan 50/50, dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 3.⁹

Tabel 3. Kualitas Benang Campuran Serat Biduri dan Poliester⁹

Sifat-sifat Fisika	Poliester 100%	33/67	50/50
Nomor Benang (Ne)	21	23	21
Twist per Inchi	16	17	16
Single Yarn Strength, g/tex	27,7	23,63	18,4
Elongation %	13,61	12,80	12,20
Unevenness (U %)	13,25	15,88	18,11

Kekuatan dan mulur benang yang dihasilkan dari campuran serat biduri dan poliester menurun seiring dengan bertambahnya rasio serat biduri. Kemudian U% benang yang dihasilkan juga meningkat dengan bertambahnya rasio serat biduri, hal ini disebabkan juga karena nilai koefisien friksi serat biduri yang lebih rendah. Akibatnya kohesi dan kekompakan serat rendah, yang menyebabkan pada saat proses pelurusan dan pensejajaran serat di zona peregangan terjadi *floating fiber* sehingga nilai U% tinggi.

PERCOBAAN PEMBUATAN BENANG DARI SERAT BIDURI

Percobaan pembuatan serat biduri menggunakan serat yang berasal dari Indonesia yang kemudian dicampur dengan tiga jenis serat lainnya dengan rasio campuran 50/50 (Gambar 9). Serat-serat yang digunakan sebagai campuran serat biduri tersebut masing-masing; serat *Excel* adalah serat rayon viskosa, serat *Thermolite* adalah serat poliester yang memiliki rongga (*hollow*), serat *Micropoly* adalah serat poliester *microfiber* dengan kehalusan masing-masing 1,2 Denier, 1,2 Denier dan 0,9 Denier dengan panjang seluruh serat masing-masing 38 mm. Pemintalan benang tersebut menggunakan sistem pemintalan kapas dengan beberapa tahapan proses, yaitu proses *blowing*, *carding*, *drawing*, *roving* sampai dengan *spinning* yang kemudian benang digulung di proses *winding*.



Gambar 9. Benang dari Serat Biduri dengan Serat Thermolite, Serat Excel, dan Serat Micropoly

Pada percobaan ini terdapat beberapa hambatan yang ditemui pada proses pemintalan dari proses *blowing* sampai dengan proses *winding*. Pada proses *drawing* dan *proses roving* masing-masing di mesin *draw frame* dan *simplex*, terjadi *floating fiber* dan *lapping* di zona peregangan, hal ini akan mempengaruhi U% dan *yarn imperfection*, yang juga berkorelasi terhadap kekuatan benang yang dihasilkan. Hal tersebut terbukti dengan nilai U% benang yang tinggi dan jumlah *yarn imperfection* sangat besar, apabila nilai U% benang tersebut dibandingkan dengan persyaratan mutu benang *ring* tunggal kapas (SNI 08-0033-2006) nilainya sangat jauh di luar persyaratan (Tabel 4).¹⁶ Kemudian dari Tabel 4 juga terlihat bahwa kekuatan (*strength*) benang *Excel*/biduri tidak masuk persyaratan SNI 08-0033-2006, sebaliknya untuk kekuatan benang *Thermolite*/biduri dan benang *Micropoly*/biduri masih masuk ke dalam persyaratan.

Tabel 4. Kualitas Hasil Percobaan Pembuatan Benang Biduri

Parameter Mutu	Excel/ Biduri	Thermoli/ Biduri	Micropoly/ Biduri	Persyaratan Mutu Benang Ring Tunggal Kapas (SNI 08-0033-2006) ¹⁶	
				Benang Rajut Garuk	Benang Tenun Garuk
Ne ₁ Aktual	19,42	20,42	20,84	Toleransi (%) ± 3	Toleransi (%) ± 3
Ne ₁ CV%	0,76	1,20	1,32	5	5
SST (g)	491,80	531,70	562,80	481	517
Elongation (%)	7,02	12,31	9,78	-	-
Elongation CV%	10,38	5,87	7,18	-	-
Strength (cN/tex)	15,85	18,90	19,47	16	17,2
Strength CV%	14,47	10,72	17,17	18	18
U%	15,86	15,84	17,57	11,6	12,4
Thin -50%	210	96	314	6	8
Thick +50%	1162	1480	1175	80	130
Neps +200	1515	2102	1616	80	110
TPI	16,44	17,15	16,53	Toleransi (%) ± 10	Toleransi (%) ± 10

Kualitas benang dari serat biduri dan campurannya seperti tersebut di atas terjadi karena pengaruh friksi serat biduri yang rendah, hal ini menyebabkan kohesi dan kekompakan serat juga rendah yang menyebabkan proses pemintalan berjalan tidak baik dan akan mempengaruhi kualitas benang. Selain itu, hal tersebut juga menyebabkan limbah yang dihasilkan menjadi tinggi.

Percobaan ini dapat menjadi pijakan untuk pengembangan potensi serat biduri sebagai bahan baku benang. Dari percobaan awal tersebut ada beberapa hal yang mungkin dapat dilakukan untuk studi lebih lanjut untuk memanfaatkan serat biduri sebagai bahan baku benang. Studi yang diperlukan untuk membuat benang dari serat biduri misalnya seperti meningkatkan koefisien friksi serat biduri, kondisi proses pada setiap tahapan proses sistem pemintalan kapas, dan karakteristik serat yang akan dicampur untuk mendapatkan kualitas atau sifat benang yang diharapkan. Sebagai contoh pemilihan serat *Thermolite* sebagai serat yang dicampur dengan serat biduri, dimana kedua serat tersebut sama-sama memiliki rongga (*hollow*), diharapkan dengan kedua serat yang memiliki rongga akan didapatkan suatu sifat dan karakteristik tertentu.

KESIMPULAN

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tanaman *Calotropis gigantea* atau tanaman biduri adalah tanaman salah satu sumber daya hayati yang ada di Indonesia yang memiliki prospek sebagai bahan baku tekstil. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya produk tekstil berupa kain tradisional yang dibuat oleh masyarakat di Pulau Alor Provinsi Nusa Tenggara Timur yang dinamakan “Sarong”, yang dibuat dari campuran serat kapas dan serat biduri.
2. Tanaman biduri banyak ditemukan di daerah yang memiliki curah hujan yang kecil, sehingga tidak terlalu sulit apabila dibudidayakan karena tidak membutuhkan air yang banyak. Tanaman ini berbuah setelah tanaman berusia 6 bulan, dan selanjutnya buah dapat dipanen secara berkala (harian atau mingguan) serta tidak mengenal musim. Dalam satu hektar lahan dapat ditanami 2500 pohon dan dapat diperoleh serat sebesar 306,38 kg/bulan/Ha.
3. Saluran berongga (*hollow*) di sepanjang serat biduri dapat merangkap udara atau uap air, sehingga serat biduri memiliki kelembaban dan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat kapas. Hal tersebut dapat dimanfaatkan contohnya sebagai penyerap minyak, insulasi termal dan peredam suara.
4. Serat biduri memiliki panjang sebesar 38,56 mm dan koefisien varian (CV%) panjang serat sebesar 11,79%, kemudian indeks keseragaman sebesar 84% dan indeks serat pendek sebesar 7,8%. Dari data-data tersebut serat biduri memiliki prospek untuk dipintal menjadi benang dengan proses sistem pemintalan kapas.
5. Serat biduri memiliki friksi permukaan serat yang rendah, sehingga untuk menambah friksi serat dapat diberi perlakuan kimia seperti cara alkali dan *dyed*, atau dengan cara plasma. Penambahan friksi permukaan serat ini dimaksudkan untuk meningkatkan nilai koefisien friksi permukaan serat agar dapat meningkatkan kohesi dan kekompakan serat. Walaupun demikian, benang dari serat biduri 100% belum dapat dibuat, akan tetapi masih harus dicampur dengan serat lainnya untuk dapat dipintal menjadi benang.
6. Serat biduri dapat dipintal menjadi benang pada proses sistem pemintalan kapas dengan dicampur serat lain seperti serat kapas, serat poliester dan serat rayon, adapun rasio campuran maksimal masing-masing yaitu 75:25, 50:50, dan 50:50. Semakin tinggi rasio serat biduri maka kualitas benang yang dihasilkan seperti kekuatan (*tenacity*), mulur (*elongation*), *yarn imperfection*, dan U% makin rendah. Hal tersebut disebabkan friksi serat biduri yang rendah yang menyebabkan kohesi dan kekompakan serat kurang baik serta menyebabkan terjadinya *floating fiber* dan *lapping* di zona peregangan terutama pada mesin *draw frame* dan *simplex*. Terjadinya *floating fiber* dan *lapping* tersebut juga mempengaruhi jumlah limbah yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.
7. Pada percobaan pembuatan benang dari serat biduri yang dicampur serat *Excel*, *Thermolite*, dan *Microfiber* dengan rasio 50:50, nilai U% dan *yarn imperfection* yang dihasilkan belum dapat memenuhi persyaratan mutu benang *ring* tunggal kapas (SNI 08-0033-2006), sedangkan untuk benang campuran serat biduri dengan *Thermolite* dan *Microfiber* tersebut menghasilkan benang dengan kekuatan yang memenuhi persyaratan SNI 08-0033-2006.
8. Dari informasi di atas, serat biduri memiliki potensi sebagai serat yang bersumber dari Indonesia untuk bahan baku pembuatan benang dengan sistem pemintalan kapas. Namun pemanfaatan serat biduri sebagai bahan baku pembuatan benang merupakan tantangan yang terus perlu dikaji dan diteliti lebih lanjut untuk mendapatkan sifat dan kualitas yang diinginkan. Misalnya dengan melakukan studi lebih lanjut mengenai peningkatan koefisien friksi serat biduri, kondisi proses pada setiap tahapan proses sistem pemintalan kapas, dan karakteristik serat yang akan dicampur untuk mendapatkan kualitas atau sifat benang yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Timoria, I. F. Dukung Industri Tekstil, Produktivitas Kapas Digenjot, *Bisnis.com*, <https://ekonomi.bisnis.com/read/20200405/99/1222804/dukung-industri-tekstil-produktivitas-kapas-digenjot> (2020).
2. Sukardan, M., D., Natawijaya, D., Prettyanti, P., Cahyadi, & Novarini, N. Karakterisasi Serat Dari Tanaman biduri (*Calotropis Gigantea*) dan Identifikasi Kemungkinan Pemanfaatannya Sebagai Serat Tekstil. *Arena Tekstil*, 31(2) : 51-62 (2017).
3. Witono, Y. Enzim Biduri Agen Aktif Potensial untuk Proses Pangan, Pustaka Radja (2013).
4. Hassanzadeh, S., & Hasani, H. A Review on Milkweed Fiber Properties as a High-Potential Raw Material in Textile Applications. *Journal of Industrial*, 45 (2) : 1-25 (2015).
5. Sana, A. W., Noerati, Sugiyana, D. & Sukardan, M. D. Aplikasi Serat Alam Biduri (*Calotropis Gigantea*) sebagai Bahan Pengis Insulatif Pada Jaket Musim Dingin, *Arena Tekstil*, 35(1) : 1-12 (2020).
6. Wellfelt, E. The Secrets of Alorese ‘Silk’ yarn: Kolon susu, triangle trade and underwater women in Eastern Indonesia, *14th Biennial Symposium Los Angeles, Paper* 943 (2014).
7. Sakthivel, C. & Ghosh. A. Extraction, Properties And Spinability of Mudar fibres *Industria textilă*, 1 (2009).
8. Karthik, T. & Murugan, R. Spinnability Of Cotton/Milkweed Blends On Ring, Compact And Rotor Spinning Systems, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 41, 26-32 (2016).
9. Parmara, M., S., Bahl, M. & Rao, J., V. Milkweed Blended Fabrics And Their Thermal Insulation and UV Protection Properties, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* (40) : 351-355 (2014).
10. Gharehaghaji, A. A., & Davoodi, S. H., Mechanical Damage to Estabragh Fibers in the Production of Thermobonded Layers, *Journal of Applied Polymer Science*, 109, 3062–3069 (2008).
11. Chen, Q., Zhao, T., Wang, M., and Wang, J. Studies of the fibre structure and dyeing properties of *Calotropis gigantea*, kapok and cotton fibres. *Color. Technol.*, 129 : 448-453 (2013).
12. Qi, Y., Xu, F., Cheng, L., Zhang, R., Liu, L., Fan, W., Zhu, B., & Li, J. Evaluation on a Promising Natural Cellulose Fiber- *Calotropis Gigantea* Fiber, *Trends Textile Engineering in Fashion Technology*, 2(4) : 205-211 (2018).
13. Crews, P. C., Woepfel, L. T., Sievert, S. A., & McCullough, E., A. Evaluation of Milkweed Floss as an Insulative Fill Material, *Textile Research Journal* 61(4) : 203–210 (1991).
14. Cotton Incorporated, *The Classification of Cotton* (2018).
15. Sakthivel, C., Mukhopadhyay, S. & Palanisamy, N., K. Some Studies on Mudar Fibers, *Journal of Industrial Textiles* 35(1): 63-76 (2005).
16. SNI 08 - 0033 : 2006, *Benang Ring Tunggal kapas* (2006).

STUDI PENGARUH KONSTRUKSI KAIN TERHADAP KEMAMPUAN PENYERAPAN TERMAL KAIN RAJUT MENGGUNAKAN ANALISIS PREDIKSI REGRESI LINIER BERGANDA

STUDY OF THE EFFECT OF FABRIC CONSTRUCTION ON THERMAL ABSORPTION OF KNIT FABRIC USING MULTIPLE LINEAR REGRESSION PREDICTION ANALYSIS

Witri Aini Salis,¹ Arif Wibi Sana,² Aziz Fathur Rachman³

¹ Politeknik STTT Bandung
E-mail: witriainisalis89@gmail.com

² Balai Besar Tekstil Bandung
E-mail: arief.wibi@yahoo.co.id

³ Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta
E-mail: azizfathur83@gmail.com

ABSTRAK

Penyerapan termal merupakan salah tolak ukur sifat kenyamanan pakaian. Untuk mengukur sifat termal suatu bahan dapat digunakan suatu alat yang dinamakan *sweating guarded hot plate* (SGHP). Namun, dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, *penyerapan termal* dapat diprediksi dengan menggunakan pemodelan secara matematis. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi nilai *penyerapan termal* pada kain rajut berdasarkan sifat fisik kain, yaitu nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan kain melalui pemodelan matematis menggunakan regresi linier berganda. Hasil penelitian menunjukkan nilai hasil prediksi memiliki nilai yang mendekati hasil eksperimen dengan nilai R^2 sebesar 0,9942. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode regresi linier berganda dapat digunakan untuk memprediksi penyerapan termal.

Kata kunci: nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, ketebalan kain, penyerapan termal

ABSTRACT

Thermal absorption is one of key parameter for clothing comfort. To measure the thermal properties of a material, a device called a sweating guarded hot plate (SGHP) can be used. However, with the development of science and technology, thermal absorption can be predicted using mathematical modeling. This study aims to predict the thermal absorption value of knit fabrics based on the physical properties of the fabric, i.e yarn count, tightness factor, loop length, porosity, and fabric thickness through mathematical modeling using multiple linear regression. The results showed that the predicted value was close to the experimental results with an Rsquare value of 0.9942. This study shows that the multiple linear regression method can be used to predict thermal absorption.

Keywords: yarn count, tightness factor, loop length, porosity, fabric thickness, thermal absorption

PENDAHULUAN

Kenyamanan terkait dengan interaksi bahan dengan tubuh manusia dan dapat diklasifikasikan menjadi tiga hal yang saling terkait yaitu kenyamanan fisiologis, kenyamanan psikologis dan kenyamanan fisik. Kenyamanan pakaian didefinisikan sebagai suatu kondisi kepuasan yang menunjukkan keseimbangan fisiologis, psikologis dan fisik antara seseorang dengan pakaiannya, dan lingkungannya.¹

Kenyamanan termo-fisiologis berkaitan dengan interaksi panas dan kelembaban antara tubuh manusia dan pakaian yang dikenakan¹. Kenyamanan termofisiologis tergantung pada pemeliharaan suhu tubuh dan inti tubuh pada tingkat yang diinginkan, dan menjaga *microclimate* antara kulit pemakai dan garmen sekering mungkin. Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termofisiologis adalah permeabilitas udara kain, permeabilitas uap air dan ketahanan termal.²

Sifat termal adalah salah satu sifat yang penting untuk kenyamanan tekstil pakaian. Kenyamanan pakaian yang terkait dengan kenyamanan termal ditandai oleh tiga sifat penting, yaitu: ketahanan termal (*thermal resistance*), konduktivitas termal (*thermal conductivity*), dan penyerapan termal (*thermal absorptivity*). Sifat termal dari bahan tekstil, terutama penyerapan termal merupakan salah tolak ukur sifat kenyamanan pakaian. Penyerapan termal adalah kemampuan suatu bahan dalam menyerap panas yang melaluinya. Parameter ini memungkinkan penilaian karakter kain dalam aspek perasaan sejuk-hangat (*warm-*

cool effect). Ketika manusia menyentuh pakaian yang memiliki suhu berbeda dari kulit, pertukaran panas terjadi antara tangan dan kain, dan perasaan hangat-sejuk adalah sensasi pertama. Kain dengan nilai absorptivitas termal yang rendah memberikan rasa yang lebih hangat.³ Menurut Hes, penyerapan termal tergantung pada *thermal conductivity*, kapasitas panas spesifik (*specific heat capacity*), dan kerapatan faik (*density of the fabrics*).⁴ Nilai *penyerapan termal* dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1.

$$b = \sqrt{\lambda \rho C} \quad (1)$$

Dimana b , λ , ρ , dan C secara berturut-turut adalah nilai penyerapan termal ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), *thermal conductivity* ($\text{W s}^{0.5} \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$), densitas (kg m^{-3}), dan kapasitas panas spesifik ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$). Persamaan 1 digunakan oleh Hes untuk mengukur penyerapan termal dari setiap kain. Banyak peneliti telah melaporkan bahwa *thermal conductivity* bergantung pada sifat karakteristik kain seperti ketebalan, densitas, *loop length*, dan porositas.^{5,6} Adapun porositas dapat diperoleh melalui persamaan matematika yang ditampillkan pada Persamaan 2.⁵

$$P = \left(1 - \frac{m}{\rho \cdot h}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana P , m , ρ , dan h secara berturut turut adalah nilai porositas (%), gramasi kain (g cm^{-2}), densitas kain (g cm^{-3}), dan ketebalan kain (cm). Dengan demikian, dapat diduga bahwa penyerapan termal dipengaruhi oleh porositas, densitas, dan ketebalan kain. Ozdil, dkk (2007) telah melakukan suatu penelitian tentang pengaruh nomor benang, *tightness factor*, *loop length*, porositas, dan ketebalan kain pada sifat kenyamanan termal kain rajut.⁵

Untuk mengukur *penyerapan termal* suatu bahan dapat digunakan suatu alat yang dinamakan *sweating guarded hot plate* (SGHP). Namun dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, sifat penyerapan termal dapat diprediksi dengan menggunakan pemodelan secara matematis. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memprediksi sifat thermal bahan. Metode matematis yang cukup populer adalah ANN (*artificial neural network*) dan *multiple linear regression*.⁷

Beberapa penelitian yang terkait dengan model prediksi sifat termal kain. Ziegler dan Kucharska-Kot, menentukan koefisien perpindahan panas dari kain tenun menggunakan nilai konduktivitas termal dan nilai ketebalan kain.⁸ Dias dan Delkumburewatte, mengembangkan model teoritis untuk memprediksi konduktivitas termal struktur rajutan sehubungan dengan porositas, ketebalan dan kadar air. Mereka menemukan bahwa konduktivitas termal kain kering menurun ketika porositas meningkat. Namun dengan peningkatan kadar air, konduktivitas termal meningkat ketika porositas meningkat. Militky dan Křemenáková, mengembangkan model mekanik sederhana untuk prediksi konduktivitas termal kain dari sifat dasar kain seperti diameter benang, pengaturan pakan dan lungsin, berat planar dan ketebalan kain.⁹ Bhattacharjee dan Kothari mempresentasikan model matematika untuk memprediksi ketahanan termal kain tenun. Mereka menggambarkan semua tenunan dasar dengan sistem benang berpori, jalinan antara benang lungsin dan benang pakan serta pori-pori udara. Ketahanan termal kain diprediksi dengan bantuan parameter ini. Resistansi termal total divalidasi dengan nilai aktual yang diperoleh dari alat ukur ketahanan termal standar.¹⁰ Kanat dan Ozdil (2018) memprediksi thermal resistance dari suatu kain rajut dengan menggunakan ANN pada *moisture content* yang berbeda.⁷ Mereka berasumsi ketahanan termal kain namun bisa berubah karena pembasahan. Dalam studinya Kanat dan Ozdi menggunakan ANN untuk memprediksi ketahanan termal dari kain yang dibasahi.

Pada penelitian ini dilakukan prediksi nilai penyerapan termal menggunakan metode *multiple linier regression*. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi nilai penyerapan termal bahan berdasarkan sifat fisik kain, yaitu nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan kain melalui pemodelan matematis menggunakan *multiple linear regression* dengan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Özdi, dkk (2007).

METODE

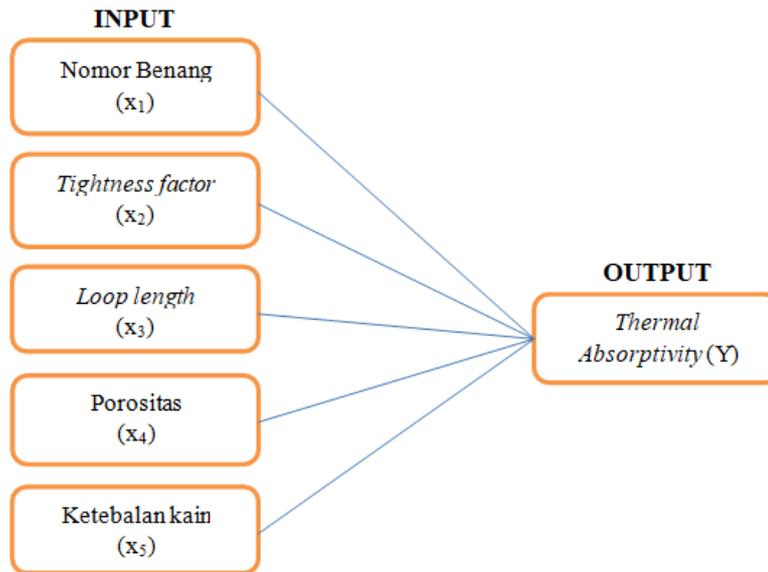
Pada penelitian ini digunakan metode *multiple linear regression*. Metode ini lebih sederhana bila dibandingkan dengan metode ANN. *Multiple linier regression* (analisis regresi linier berganda) adalah analisis statistik yang digunakan untuk mengetahui pengaruh beberapa variabel bebas (*independent*) terhadap variabel terikat (*dependent*). Dengan *multiple linear regression*, peneliti dapat mengestimasi atau memprediksi nilai rata-rata (populasi) satu variabel *dependent* berdasarkan dua atau lebih variabel *independent*. Adapun model dasar dari teknik *multiple linear regression* ini ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$Y_{pred} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i \quad (3)$$

dimana,

- Y_{pred} : nilai prediksi dari variabel *dependent*
- a_0 : konstanta
- a_i : koefisien regresi untuk variabel *independent* ke-i
- x_i : variabel *independent* ke-i

Bagan pemodelan sederhana *penyerapan termal* sebagai fungsi dari nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan kain dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pemodelan penyerapan termal dengan *multiple linear regression*

Penyerapan termal kain diprediksi dengan bantuan parameter nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan kain. Nilai penyerapan termal prediksi divalidasi dengan nilai aktual yang diperoleh Ozil, dkk (2007) dengan menggunakan instrumen Alambeta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Merujuk pada hasil penelitian Ozdil, dkk. (2007) nilai penyerapan termal dari kain rajut kapas dalam tiga nomor benang yang berbeda (Ne 20, Ne 30 dan Ne 40) dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil pengujian Ozdil, dkk (2007) menunjukkan bahwa ketebalan memiliki pengaruh penting pada ketahanan termal kain dan ketahanan termal meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan kain yang serupa dengan literatur. Ketika sesak meningkat, ketahanan termal menurun karena ketebalan menurun. Penyerapan termal kain meningkat karena peningkatan ketebalan untuk benang yang lebih kasar.

Tabel 1. Pengaruh nomor benang, faktor kerapatan (*tightness factor*), panjang loop (*loop length*), porositas (*porosity*), dan ketebalan kain (*fabric thickness*) terhadap nilai penyerapan termal (Özdil, dkk, 2007)

No	X1 Yarn Count (Ne1)	X2 Tightness Factor (K)	X3 Loop Length (cm)	X4 Porosity (%)	X5 Fabric Thickness (mm)	Y Exp Penyerapan termal (Ws ^{1/2} m ⁻² K ⁻¹)
1	20	15.5	0.35	86.28	1.16	134
2	20	14	0.39	86.84	1.12	138
3	20	12.5	0.43	88.41	1.25	121
4	30	15.5	0.29	89.14	1.05	126
5	30	14	0.32	89.6	1.01	122
6	30	12.5	0.36	90.49	1.05	110
7	40	14	0.27	90.42	0.81	107
8	40	12.5	0.31	91.35	0.82	106
Jumlah	230	110.5	2.72	712.53	8.27	964
Rata-rata	28.75	13.8125	0.34	89.06625	1.03375	120.5

Pada penelitian ini, nilai penyerapan termal diprediksi menggunakan model regresi linier berganda. Nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan dipilih sebagai variabel independen dalam analisis ini. Berdasarkan pemodelan pada Gambar 1 persamaan regresi linear *penyerapan termal* dapat dituliskan sebagaimana Persamaan 4 berikut:

$$Y_{pred} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \quad (4)$$

dimana,

- Y_{pred} : nilai prediksi *penyerapan termal*
- a_0 : suatu konstanta dari persamaan garis
- $a_1a_2a_3a_4a_5$: suatu konstanta untuk variabel x
- x_1 : nomor benang dalam Ne
- x_2 : *tightness factor*
- x_3 : *loop length*
- x_4 : porositas
- x_5 : ketebalan kain

Berdasarkan Persamaan 4, maka nilai Y dapat dituliskan sebagaimana Persamaan 5 berikut:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_0 + a_1x_{11} + a_2x_{21} + a_3x_{31} + a_4x_{41} + a_5x_{51} \\ Y_2 &= a_0 + a_1x_{12} + a_2x_{22} + a_3x_{32} + a_4x_{42} + a_5x_{52} \\ Y_3 &= a_0 + a_1x_{13} + a_2x_{23} + a_3x_{33} + a_4x_{43} + a_5x_{53} \\ Y_k &= a_0 + a_1x_{1k} + a_2x_{2k} + a_3x_{3k} + a_4x_{4k} + a_5x_{5k} \end{aligned} \quad (5)$$

Persamaan 5 dapat dituliskan dalam bentuk persamaan matriks seperti pada Persamaan 6 berikut:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & x_{31} & x_{41} & x_{51} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & x_{32} & x_{42} & x_{52} \\ 1 & x_{13} & x_{23} & x_{33} & x_{43} & x_{53} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{k1} & x_{k2} & x_{k3} & x_{k4} & x_{k5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_k \end{bmatrix} \quad (6)$$

Nilai a dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 berikut:

$$a = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (7)$$

Dimana X^T merupakan transpose dari matriks X dan $(X^T X)^{-1}$ merupakan invers dari perkalian matriks $X^T X$. Berdasarkan data pada Tabel 1, maka nilai matriks X dan X^T adalah sebagai berikut :

$$X = \begin{bmatrix} 1,00 & 20,00 & 15,50 & 0,35 & 86,28 & 1,16 \\ 1,00 & 20,00 & 14,00 & 0,39 & 86,84 & 1,12 \\ 1,00 & 20,00 & 12,50 & 0,43 & 88,41 & 1,25 \\ 1,00 & 30,00 & 15,50 & 0,29 & 89,14 & 1,05 \\ 1,00 & 30,00 & 14,00 & 0,32 & 89,60 & 1,01 \\ 1,00 & 30,00 & 12,50 & 0,36 & 90,49 & 1,05 \\ 1,00 & 40,00 & 14,00 & 0,27 & 90,42 & 0,81 \\ 1,00 & 40,00 & 12,50 & 0,31 & 91,35 & 0,82 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$X^T = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 20,00 & 20,00 & 20,00 & 30,00 & 30,00 & 30,00 & 40,00 & 40,00 \\ 15,50 & 14,00 & 12,50 & 15,50 & 14,00 & 12,50 & 14,00 & 12,50 \\ 0,35 & 0,39 & 0,43 & 0,29 & 0,32 & 0,36 & 0,27 & 0,31 \\ 86,28 & 86,84 & 88,41 & 89,14 & 89,60 & 90,49 & 90,42 & 91,35 \\ 1,16 & 1,12 & 1,25 & 1,05 & 1,01 & 1,05 & 0,81 & 0,82 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dan matriks Y sebagai berikut :

$$Y = \begin{bmatrix} 134 \\ 138 \\ 121 \\ 126 \\ 122 \\ 110 \\ 107 \\ 106 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Berdasarkan perhitungan matriks yang telah dilakukan, persamaan analisis regresi linier berganda untuk memprediksi penyerapan termal kain rajut kapas dapat dilihat pada Persamaan 11.

$$Y_{pred} = -0,9380 + 1,0013(-1761,6 - 3,2x_1 + 31,6x_2 + 821,9x_3 + 16,9x_4 - 229,6x_5) \quad (11)$$

dimana,

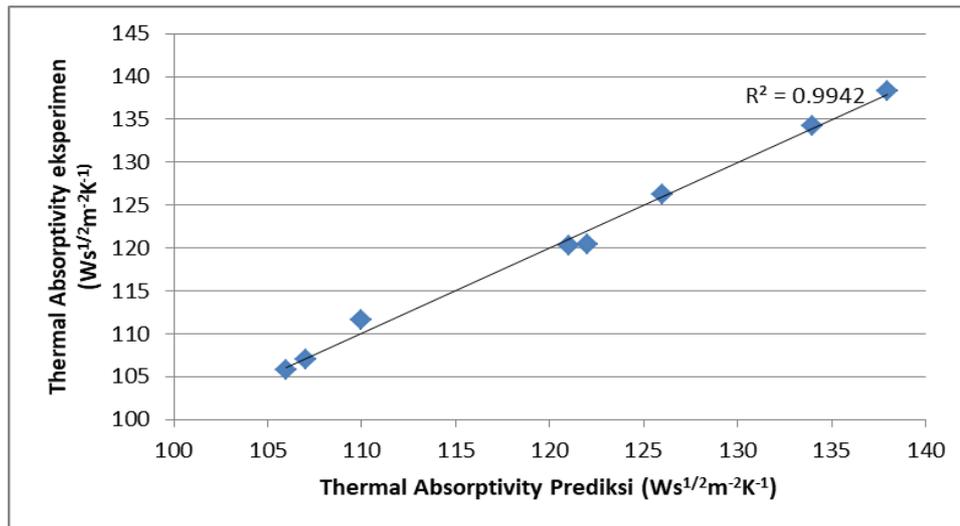
- Y_{pred} : nilai prediksi *penyerapan termal*
- x_1 : nomor benang dalam Ne
- x_2 : *tightness factor*
- x_3 : *loop length*
- x_4 : porositas
- x_5 : ketebalan kain

Dapat dilihat pada persamaan, bahwa faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan kain merupakan faktor utama yang mempengaruhi nilai penyerapan termal kain. Nilai penyerapan termal meningkat ketika faktor kerapatan meningkat, porositas meningkat, dan ketebalan menurun. Penyerapan termal dihitung menggunakan Persamaan 11 disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan diagram sebar dari nilai prediksi versus nilai eksperimen dan garis regresi dari Persamaan 11.

Tabel 2 menunjukkan nilai R^2 . Nilai R^2 atau koefisien regresi menunjukkan hubungan atau korelasi antara nilai penyerapan termal prediksi dan penyerapan termal eksperimen. Untuk melihat sesuai tidaknya pemodelan yang telah dibuat maka perlu dihitung nilai R^2 , Bila nilai R^2 semakin mendekati 1, maka pemodelan dan nilai prediksi semakin mendekati hasil eksperimen. Berdasarkan data pada tabel 2 diperoleh nilai $R^2 = 0,9942$, sehingga prediksi dengan menggunakan Persamaan 11 cocok untuk memprediksi nilai penyerapan termal kain.

Tabel 2. Nilai prediksi penyerapan termal

No.	<i>Thermal Absorptivity</i> eksp	<i>Thermal Absorptivity</i> prediksi	$(TA_{pred}-TA_{eksp})^2$	$(TA_{avg}-TA_{eksp})^2$
1	134	134,271	0,0731935	182,25
2	138	138,344	0,11822	306,25
3	121	120,324	0,456386	0,25
4	126	126,250	0,062565	30,25
5	122	120,412	2,5231747	2,25
6	110	111,644	2,7032845	110,25
7	107	106,995	2,371E-05	182,25
8	106	105,798	0,0409754	210,25
Jumlah	964	964,037	5,9778227	1024
Rata-rata	120,5	120,505		
			R^2	0,9942



Gambar 2. Hubungan nilai penyerapan termal prediksi terhadap nilai penyerapan termal eksperimen

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- *Multiple linear regression* merupakan salah satu metoda matematis alternatif yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai penyerapan termal sebagai fungsi dari nomor benang, faktor kerapatan, panjang loop, porositas dan ketebalan kain
- Data nilai penyerapan termal hasil prediksi memiliki nilai yang mendekati data hasil eksperimen dengan nilai *R square* sebesar 0,9942
- Persamaan linier yang diperoleh adalah:

$$Y_{pred} = -0,9380 + 1,0013(-1761,6 - 3,2x_1 + 31,6x_2 + 821,9x_3 + 16,9x_4 - 229,6x_5)$$

dimana $x_1, x_2, x_3, x_4,$ dan x_5 secara berturut-turut adalah nomor benang dalam Ne, faktor kerapatan, panjang loop, porositas, dan ketebalan kain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Tasron, D., Nasir, S. H., Troynikov, O., Lewis, R. & Carré, M. Thermo-Physiological Comfort And Frictional Characteristics Of Running Socks In Different Moisture Cnditions. *Conf. Pap.* 1–6 (2016).
2. Hussain, T., Nazir, A. & Masood, R. Liquid Moisture Management in Knitted Textiles – A Review. *3rd Int. Conf. Value Addit. Innov. Text.* 15–26 (2015). doi:10.13140/RG.2.1.1898.0966
3. Supuren, G., Oglakcioglu, N., Özdil, N. & Marmarali, A. Moisture management and penyerapan termal properties of double-face knitted fabrics. *Text. Res. J.* **81**, 1320–1330 (2011).
4. Mangat, A. E., Hes, L., Bajzik, V. & Mazari, A. Penyerapan termal Model of Knitted Rib Fabric and its Experimental Verification. *Autex Res. J.* **18**, 20–27 (2018).
5. Özdil, N., Marmarali, A. & Kretschmar, S. D. Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics. **46**, 1318–1322 (2007).
6. Karthikeyan, G., Nalankilli, G., Shanmugasundaram, O. L. & Prakash, C. International Journal of Clothing Science and Technology Thermal comfort properties of bamboo tencel knitted fabrics. *Int. J. Cloth. Sci. Technol. Int. J. Cloth. Sci. Technol. Iss Int. J. Cloth. Sci. Technol. Iss Int. J. Cloth. Sci. Technol.* **28**, 420–428 (2016).
7. Kanat, Z. E. & Özdil, N. Application of artificial neural network (ANN) for the prediction of thermal resistance of knitted fabrics at different moisture content*. *J. Text. Inst.* **109**, 1247–1253 (2018).
8. Ziegler, S. & Kucharska-Kot, J. Estimation of the overall heat-transfer coefficient through a textile layer. *Fibres Text. East. Eur.* **14**, 103–106 (2006).
9. Militký, J. & Křemenáková, D. Thermal Conductivity of Wool/Pet Weaves. *6th Int. Conf. Heat Transf. Fluid Mech. Thermodyn.* 2 (2008).
10. Bhattacharjee, D. & Kothari, V. K. A Neural Network System for Prediction of Thermal Resistance of Textile Fabrics. *Text. Res. J.* **77**, 4–12 (2007).

MODIFIKASI PERMUKAAN KAIN KAPAS DENGAN METODE PLASMA MENGGUNAKAN RESIN HYDROB FC UNTUK MENDAPATKAN SIFAT HIDROFOBISITAS

SURFACE MODIFICATION OF COTTON FABRIC BY PLASMA METHOD USING HYDROB FC RESIN TO IMPART HYDROPHOBICITY

Juan Prianto,¹ Jantera Sekar Tirta²

Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No. 31 Bandung 40272
E-mail: ¹juanlie2604@gmail.com, ²sekarjantera@yahoo.com

ABSTRAK

Hydrob FC (*Fluoro Carbon*) merupakan resin tolak air yang mengandung komponen dasar, seperti *fluoracrylate copolymer*, *dipropylene glycol monomethyleter*, emulsifier, dan asam sitrat. Umumnya, resin ini dapat berpolimerisasi dengan bahan tekstil menggunakan metode pemanasawetan dengan suhu diatas 180°C. Pada penelitian ini resin Hydrob FC ditambahkan dengan asam asetat untuk mendapatkan suasana pH 4-5, kemudian diaplikasikan pada kain kapas dengan metode plasma untuk proses polimerisasinya. Plasma yang digunakan memiliki tegangan 20 kV dan dilakukan variasi terhadap waktu prosesnya (150, 300, 450, dan 600 detik). Hasil kain kapas tersebut dibandingkan dengan hasil dari metode pemanasawetan. Hasil evaluasi terhadap sudut kontak dengan air mengkonfirmasi bahwa permukaan kain bersifat hidrofob (>90°) dengan hasil sudut kontak yang didapatkan dengan metode plasma yakni sebesar 110,4°, 116,1°, 119,3°, dan 136,1°, tergantung dari variasi lama waktu proses plasma, dimana hasil tersebut lebih baik dibandingkan dengan metode pemanasawetan dengan sudut kontak yang dihasilkan yakni sebesar 118,4°.

Kata kunci: resin, kain kapas, hidrofob, sudut kontak, plasma

ABSTRACT

Hydrob FC (Fluoro Carbon) is a water-repellent resin which contains some basic components, such as fluoracrylate copolymer, dipropylene glycol monomethyleter, emulsifier and citric acid. Generally, this resin can polymerize on textile materials using curing method with the temperature above 180°C. In this study, Hydrob FC resin was added with acetic acid to get pH 4-5 and applied it to cotton fabric with plasma method for the polymerization process. The plasma voltage was set to 20 kV and the processing time are varied (150, 300, 450 and 600 seconds). The results of the cotton fabric was compared with the results of the curing method. The evaluation results of contact angle with water confirm that the surface of the fabric is hydrophobic (>90°) with values of 110.4°, 116.1°, 119.3°, and 136.1°, depends on the duration time variation of plasma treatment process, which is better when compared to the preserved heating method with contact angle value of 118.4°.

Keywords: resin, cotton fabric, hydrophobic, contact angle, plasma

PENDAHULUAN

Proses penyempurnaan tekstil (*finishing*) adalah tahapan proses terakhir pada bahan tekstil setelah mengalami proses pencelupan dan/atau pencapan dengan hasil yang dapat bersifat sementara maupun bersifat permanen. Prosesnya dapat dilakukan pada bahan tekstil dalam bentuk benang, kain tenun, kain rajut, ataupun nir tenun (*non woven fabrics*) dan dapat dilakukan secara mekanika, kimia, maupun kombinasi dari keduanya. Penyempurnaan tekstil ini berkembang dengan pesat sesuai dengan perkembangan teknologi (cara) dan kebutuhan konsumen yang bersifat fungsional, seperti anti api, tolak air, anti bakteri, anti jamur, kenampakan, pegangan, dan lainnya. Jenis bahan yang akan diproses sangat memegang peran penting karena akan menentukan pemilihan cara dan hasil yang diharapkan.¹ Penyempurnaan tolak air dan tahan api merupakan salah satu proses penyempurnaan yang tertua dan paling banyak dilakukan pada penyempurnaan tekstil. Salah satu prasyarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan hasil penyempurnaan tolak air yang baik adalah persiapan penyempurnaan yang baik, mengingat banyaknya zat-zat pembantu tekstil yang dapat mempengaruhi efek tolak air.^{2,3} Pada penelitian ini dilakukan proses penyempurnaan tolak air pada kain kapas.

Kapas adalah serat bahan alam yang paling umum di dunia. Serat kapas memiliki afinitas yang besar terhadap air dan air memiliki pengaruh yang nyata pada sifat-sifat serat. Serat kapas yang sangat kering bersifat kasar, rapuh, dan kekuatannya rendah. *Moisture regain* (MR) serat kapas bervariasi sesuai dengan

perubahan kelembaban relatif tertentu. MR kapas pada kondisi standar berkisar antara 7 – 8,5%. Pada penelitian kali ini, sifat kelembaban pada permukaan luar dari kain kapas dimodifikasi menjadi hidrofob dengan menggunakan resin salah satunya adalah dengan Hydrob FC yang berbasis *fluoracrylate copolymer*.¹⁰

Hydrob FC adalah nama dagang dari resin tolak air yang mengandung komponen dasar *fluoracrylate copolymer* yang dicampur dengan *dipropylene glycol monomethyleter*, emulsifier, dan asam sitrat. Resin ini berbentuk cairan putih dengan pH 2,1 yang dapat digunakan sebagai resin pelapis pada bahan tekstil untuk mendapatkan sifat tolak air dan minyak serta sifat tahan kotor. Resin ini dapat berpolimerisasi dengan bahan tekstil jika diperlakukan dengan suhu diatas 180°C. *Fluorocrylate copolymer* terdiri dari gugus fungsi utama C-F yang bersifat hidrofob dan memiliki stabilitas yang sangat tinggi, inert, dan tidak dapat teroksidasi sehingga sangat baik digunakan sebagai resin tolak air.^{4,5,6}

Metode untuk mempolimerisasikan suatu resin dengan kain adalah dengan cara *pad dry cure*. Walaupun metode ini membutuhkan waktu proses yang cepat, tetapi memerlukan suhu yang tinggi sehingga energi yang dibutuhkan juga tinggi. Selain dengan metode konvensional tersebut ada metode lain yaitu dengan menggunakan plasma. Plasma dapat mempolimerisasikan suatu zat dengan kain dengan cara mengirinkan ion – ion (negatif atau positif tergantung dari anoda dan katoda dari plasmanya) yang akan memodifikasi permukaan dari serat sehingga dapat mempermudah suatu zat berpolimerisasi dengan serat. Selain dapat mempolimerisasikan dengan cepat, plasma juga dapat digunakan dengan input energi (listrik) yang kecil, tetapi akan menghasilkan output energi yang besar.⁷ Ada berbagai macam jenis reaktor plasma, salah satunya adalah plasma dengan lucutan korona. Plasma lucutan korona adalah reaktor plasma dengan bentuk *tip* dan *plain*. Pada reaktor plasma ini, listrik dialirkan dari salah satu titik dengan tegangan DC.^{8,9} Reaktor plasma dapat dialirkan gas – gas untuk membantu reaksi polimerisasi seperti gas – gas inert ataupun jenis gas lainnya, gas yang berbeda akan menghasilkan modifikasi pada serat yang berbeda juga. Jika tidak tambahkan gas – gas pembantu lainnya, maka plasma akan menggunakan ion – ion yang terdapat disekitarnya (*ambient gasses*).³

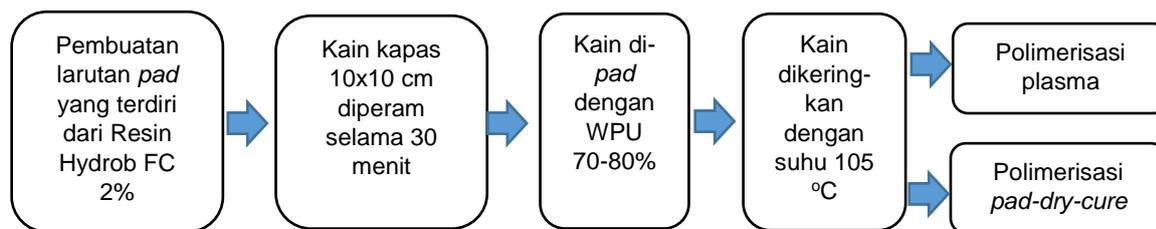
METODE

Alat dan Bahan

Resin Hydrob FC dibeli dari kreussler.co dan kain kapas putih RFD dibeli dari Primissima. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pencapan Politeknik STTT Bandung menggunakan alat *padder* dan *stenter* dan di *Center of Plasma Research* UNDIP Semarang menggunakan plasma *corona discharge* dengan tekanan atmosfer, *non-thermal*, dan tanpa isolasi gas tertentu.

Diagram Proses

Diagram proses dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Keterangan variasi parameter proses plasma dapat dilihat pada Tabel 1 dan variasi parameter proses *pad-dry-cure* dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Diagram proses

Tabel 1. Variasi *pad-dry-cure*

No	Keterangan Variasi	
1.	Waktu <i>dipping</i>	30 menit
2.	Pad	70 % WPU
3.	Dry	120 s; 105°C
4.	Cure	150 s; 180 °C

Tabel 2. Variasi parameter plasma

No	Keterangan Variasi	
1.	Waktu <i>dipping</i>	30 menit
2.	Pad	70 % WPU
3.	Tegangan	20 kV
4.	Waktu plasma	150 s; 300 s; 450 s; 600 s
5.	Jarak kain - elektroda	3 cm

Prosedur Kerja

1. Prosedur aplikasi resin pada kain metode plasma

Kain dengan ukuran 10 x 10 cm direndam pada larutan pad selama 30 menit kemudian diberikan perlakuan *pad* dengan WPU 70–80% lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C dan dilakukan polimerisasi oleh plasma dengan parameter yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

2. Prosedur aplikasi resin pada kain metode *pad-dry-cure*

Kain dengan ukuran 10 x 10 cm direndam pada larutan pad selama 30 menit kemudian diberikan perlakuan *pad* dengan WPU 70–80% lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C dan dilakukan proses pemanasawetan dengan *stenter* selama 150 detik dengan suhu 180 °C.

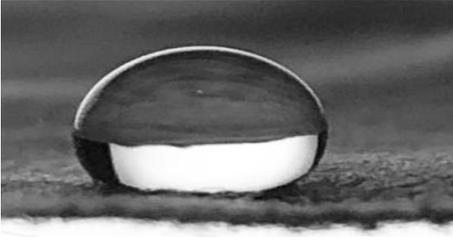
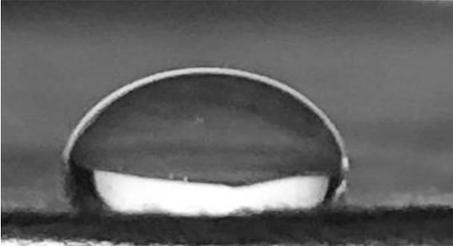
3. Evaluasi hasil aplikasi

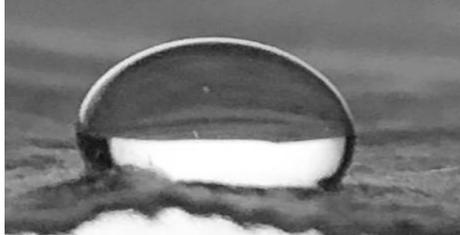
Penyempurnaan tolak air dianalisis dengan melihat sudut kontak antara air dengan kain menggunakan aplikasi pengolah citra. Evaluasi dilakukan dengan evaluasi *Water Contact Angle* (WCA) untuk mengetahui sudut kontak air terhadap kain hasil proses. Evaluasi ini dilakukan dengan cara kain ditetesi air menggunakan pipet tetes lalu dilakukan pengambilan gambar dengan smartphone Iphone 8 dengan kamera 12MP. Gambar tersebut diproses dengan aplikasi pengukur citra ImajeJ menggunakan plugin LBADSA untuk mendapatkan nilai sudut kontak. Hasil pengolahan citra menunjukkan angka sudut kontak antara air dengan permukaan kain.^{11,12}

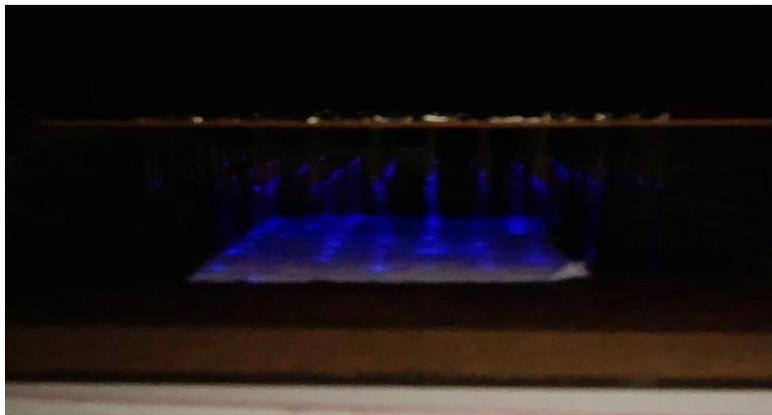
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan sudut kontak dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan pengamatan proses plasma serta arus dan tegangannya dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 3. Hasil evaluasi sudut kontak

NO	KETERANGAN	HASIL
1.	Hasil kain modifikasi polimerisasi metode <i>pad-dry-cure</i> Sudut kontak = 118,4° Waktu penyerapan air seluruhnya ke dalam kain: 3 menit	
2.	Hasil kain modifikasi polimerisasi metode plasma 150 s Sudut kontak = 136,1° Waktu penyerapan air seluruhnya ke dalam kain: 3 menit	
3.	Hasil kain modifikasi polimerisasi metode plasma 300 s Sudut kontak = 119,3° Waktu penyerapan air seluruhnya ke dalam kain: 5 menit	

NO	KETERANGAN	HASIL
4.	Hasil kain modifikasi polimerisasi metode plasma 450 s Sudut kontak = $116,1^\circ$ Waktu penyerapan air seluruhnya ke dalam kain: >10 menit	
5.	Hasil kain modifikasi polimerisasi metode plasma 600 s Sudut kontak = $110,4^\circ$ Waktu penyerapan air seluruhnya kedalam kain: >10 menit	



Gambar 2. Proses polimerisasi menggunakan plasma pada kain kapas



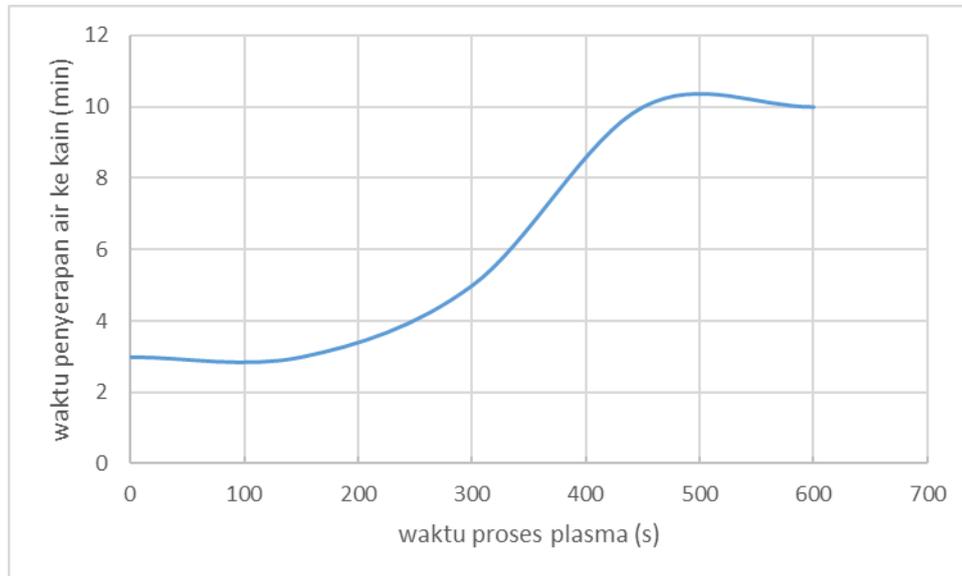
Gambar 3. Pengamatan tegangan dan arus yang diberikan oleh reaktor pada plasma

Pada hasil penyempurnaan menggunakan plasma maupun *pad-dry-cure* didapatkan hasil kain kapas yang dapat menolak air. Pada hasil pengukuran sudut kontak air, seluruh kain yang diproses dengan plasma ataupun *pad-dry-cure* memiliki sudut kontak $>90^\circ$, hal ini menunjukkan bahwa kain kapas berhasil dimodifikasi menjadi hidrofob dengan resin Hydrob-FC.

Pada kain yang diproses dengan *pad-dry-cure* sudut kontaknya tidak jauh berbeda dengan yang diproses dengan plasma, tetapi waktu air menyerap secara keseluruhan hanya 3 menit sementara dengan plasma bisa >10 menit untuk air menyerap seluruhnya. Hal ini menunjukkan bahwa polimerisasi dengan plasma lebih baik

dibandingkan dengan metode *pad-dry-cure*. Hal ini mungkin dikarenakan polimerisasi antara resin dengan kain oleh bantuan plasma lebih banyak dibandingkan dengan metode *pad-dry-cure* dan mungkin juga dikarenakan pada metode *pad-dry-cure* digunakan panas yang sedikit tidak stabil sehingga suhu naik di atas 180°C dan merusak resinnya sehingga resin yang berpolimerisasi dengan serat lebih sedikit.

Pada kain hasil plasma, kain uji yang diproses plasma selama 150 s memiliki sudut kontak yang terbaik tetapi waktu penyerapan yang lebih cepat dibandingkan dengan yang lainnya. Sementara kain lainnya yang diproses plasma sudut kontaknya tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa hasil sudut kontak dengan air tidak terlalu berbeda dengan variasi waktu plasma.



Keterangan : 0(s) menyatakan proses *pad-dry-cure*

Gambar 4. Grafik hasil penyerapan

Waktu penyerapan air ke kain pada berbagai variasi waktu proses plasma dapat dilihat pada Gambar 4. Kain yang diproses plasma selama 150 s waktu menyerap air seluruhnya paling cepat (yakni 3 menit) dan dilihat pula dari data di atas bahwa semakin lama waktu plasma, maka penyerapannya semakin lama juga. Namun pengamatan dihentikan setelah 10 menit karena dianggap sudah memiliki sifat hidrofob yang sangat baik. Hal ini mungkin dikarenakan semakin lama waktu plasma, semakin banyak juga resin yang dipolimerisasikan dengan serat dan titik optimumnya adalah pada waktu proses plasma 450 s karena waktu penyerapan airnya sama dengan proses plasma selama 600 s.

KESIMPULAN

Hasil evaluasi sudut kontak air menunjukkan bahwa kain kapas memiliki sifat hidrofob (sudut kontak >90°) setelah diberi perlakuan dengan Hydrob FC, baik dengan menggunakan proses pemanasawetan maupun dengan proses plasma. Perlakuan dengan plasma menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pemanasawetan dilihat dari besar sudut kontak dan juga lama waktu penyerapan airnya. Semakin lama waktu proses plasma, semakin lama juga penyerapan airnya ke dalam kain dan waktu optimum perlakuan plasma dengan tegangan 20 kV adalah 450 s, dilihat dari lama waktu penyerapannya yang sudah di atas 10 menit. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk meneliti pengaruh besar tegangan dari plasma pada proses polimerisasi resin dengan kain tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Goswami, B.C., Martindale, J.G. & Scardino, F.L. Textile yarns. Technology structure and applications, A Wiley-Interscience Publication. (1977).
2. Li Yongqiang dkk. Fabrication of superhydrophobic cotton fabrics through wrapping silica with plasma-induced grafting polymerization. SAGE : Textile Research Journal. (2017).
3. Paosawatyanong B, K. Kamlangkla dan S. K. Hodak. Hydrophobic and Hydrophilic Surface Nano-Modification of PET Fabric by Plasma Process. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. (2010).
4. Bunn C.W & ER Howells. Structures of Molecules and Crystals of Fluoro-Carbon. Springer. (1954).
5. Grosse Aristid V. & George H. Cady. Properties of Fluorocarbon. ACS Publication : Industrial & Engineering Chemistry. (1947).

6. Jin Huan & Wei Xu. The Preparation and Properties of Fluoroacrylate-Modified Polysiloxane as a Fabric Coating Agent. MDPI. (2017).
 7. Morshed A. M. A. An Overview of techniques of Plasma application in Textile Processing. Bangladesh Textile Today. (2015).
 8. Sjaifudin T, A., & Sitohang, K. rancang bangun prototip mesin plasma tekstil lucutan korona pada tekanan atmosfer skala laboratorium. Arena Tekstil Vol. **30** No. 1. (2015).
 9. Su Wenyue, Shichao Wang, Xuxu Wang, Xianzhi Fu & Jingning Weng. Plasma pre-treatment and TiO₂ coating of PMMA for the improvement of antibacterial properties. Elsevier. (2010).
 10. Zahid Muhamad dkk. Robust Water Repellent Treatmentfor Woven Cotton Fabrics with Eco-friendly Polymers. Chemical Engineering Journal. (2017).
 11. Buvailo Andrii, Yangjun Xing, Sean Keuleyan, VivekPrakash, Ali Eftekhari-Bafrooei & Eric Borguet. Contact Angle Measurements Using a Simplified Experimental Setup. ACS Publication : Journal of Chemical Education. (2010).
 12. Chen H, Jesus L. Muros-Cobos & A. Amirfazli. Contact angle measurement with a smartphone. REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS **89** p1-4. (2018).
-

STUDI PENINGKATAN EFISIENSI ENERGI MELALUI SIMULASI AUDIT TEKNOLOGI DI INDUSTRI TEKSTIL

STUDY OF ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT THROUGH SIMULATION OF TECHNOLOGY AUDITS IN TEXTILE INDUSTRY

Mukti Widodo, Mulia Hendra, Tony Setiawan

Balai Besar Tekstil
Jl. Jenderal A. Yani No.390 Bandung, 022 7206214/022 7271288
E-mail: bbt@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Audit teknologi dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap suatu teknologi secara sistematis dan obyektif untuk meningkatkan efisiensi energi di industri tekstil. Cakupan dari kegiatan simulasi audit teknologi yang dilakukan ini adalah bagian dari diagnosis atau investigasi kemampuan teknologi dalam rangka memperoleh manfaat yang lebih besar dengan penggunaan energi yang lebih efisien. Simulasi audit teknologi ini dilaksanakan untuk mengukur kinerja teknologi dan menemukan solusi permasalahan dengan biaya yang kecil atau tanpa investasi. Metode studi ini yaitu mengumpulkan data dan informasi melalui wawancara dan observasi, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi potensi peningkatan efisiensi energi dan saran perbaikan. Yang menjadi pengamatan dalam studi ini yaitu proses pencelupan tekstil dan utilitas. Simulasi audit teknologi ini dilakukan masih dalam tahap diagnosis awal dan dilakukan secara umum. Dengan persetujuan manajemen perusahaan, ke depannya audit teknologi ini masih dapat dilanjutkan dengan analisis yang lebih detail dan disertai oleh rencana tindakan (*action plan*) yang berisi lebih spesifik pada subyek, kerangka waktu, *milestones*, perkiraan biaya, hasil yang diharapkan, identifikasi potensi penyelesaian masalah, dan pemantauan saat implementasi

Kata kunci: tekstil, audit, teknologi, efisiensi, energi, pencelupan, utilitas

ABSTRACT

Technology audits can be used to evaluate a technology systematically and objectively to improve energy efficiency in the textile industry. The scope of the technology audit simulation activities carried out is part of the diagnosis or investigation of technological capabilities in order to obtain greater benefits from more efficient energy use. This technology audit simulation is carried out to measure technology performance and find solutions to problems at low cost or without investment. This study method is to collect data and information through interviews and observations, then proceed with the identification of potential improvements in energy efficiency and suggestions for improvements. The observation in this study is the textile dyeing process and the utility. This technology audit simulation is still in the initial diagnosis stage and is carried out in general. With the approval of company management, in the future this technology audit can still be continued with a more detail analysis and accompanied by an action plan that contains: more specifics on the subject, time frame, milestones, cost estimates, expected results, identification of potential solutions problems, and monitoring during implementation.

Keywords: textiles, audit, technology, efficiency, energy, dyeing, utility

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir industri tekstil Indonesia selalu berada dalam tekanan usaha berupa masih rendahnya daya saing serta penurunan kapasitas. Tekanan yang dihadapi ini berkaitan dengan berbagai masalah yang masih dihadapi industri tekstil di antaranya adalah tingginya biaya energi, rendahnya produktivitas, kapasitas sumber daya manusia, dan mesin-mesin yang sudah tua¹. Isu turunnya daya saing industri tekstil Indonesia mengemuka sejak adanya persaingan global dengan negara lain penghasil tekstil seperti China, India, Vietnam, dan Kamboja. Pengembangan faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan daya saing perlu dilakukan, di antaranya penguatan dalam bidang inovasi, teknologi, dan sumber daya manusia².

Perkembangan teknologi yang pesat saat ini banyak dipicu oleh ketatnya persaingan dalam dunia industri dan perdagangan yang semakin terbuka. Industri tekstil Indonesia membutuhkan teknologi untuk menjadi industri modern sekaligus meningkatkan daya saing. Teknologi yang dibutuhkan tidak hanya berupa teknologi sederhana namun juga teknologi modern. Selama ini industri tekstil Indonesia tertinggal dalam penguasaan teknologi dibandingkan oleh negara-negara produsen tekstil yang sekaligus produsen mesin-mesin

seperti China dan India. Pengembangan teknologi dengan memadukan kemampuan dalam negeri dan sumber asing terlihat lebih cocok untuk Industri tekstil Indonesia. Dengan alih teknologi memungkinkan mendapat teknologi yang sesuai dengan kebutuhan dalam waktu yang lebih cepat dibanding mengembangkan teknologi sepenuhnya dengan kemampuan sendiri. Alih teknologi akan memberikan kesempatan tenaga lokal untuk memahami teknologi yang didapat dan mengembangkannya lebih lanjut³.

Audit teknologi merupakan metoda investigasi yang bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas teknologi, prosedur, dan kebutuhan perusahaan atau organisasi. Pada langkah selanjutnya, audit teknologi juga merupakan metoda untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan melalui karakterisasi dan asesmen umum pada pengetahuan dasar perusahaan (pemasaran, manajemen, keuangan, sumber daya manusia, dan sebagainya). Metoda audit teknologi ini merupakan proses analisis yang dilanjutkan dengan usulan yang kongkrit. Audit teknologi dilakukan oleh konsultan eksternal dengan bekerjasama dengan manajemen dan personil perusahaan⁴.

Industri tekstil pencelupan dan penyempurnaan di negara-negara berkembang termasuk Indonesia memiliki permasalahan pada biaya energi karena industri ini termasuk pengguna energi dengan intensitas yang tinggi (*highly energy-intensive*)⁷. Penggunaan energi yang efisien pada proses pencelupan dan penyempurnaan tekstil akan berdampak pada penurunan biaya energi, yang selanjutnya akan menurunkan biaya produksi. Pada studi peningkatan efisiensi energi yang menggunakan simulasi audit teknologi sebagai metodenya, telah dilakukan evaluasi secara sistematis dan obyektif terhadap komponen teknologi untuk melakukan perbaikan pada proses pembangkitan dan penggunaan energi. Adapun tujuan simulasi audit teknologi ini adalah peningkatan kinerja (*performance improvement*) untuk peningkatan daya saing industri melalui peningkatan efisiensi energi.

METODE

Lokasi dan Ruang Lingkup Kegiatan

Kegiatan audit teknologi dilaksanakan di salah satu industri tekstil di wilayah Bandung Raya, Jawa Barat (PT. Z) pada unit produksi pencelupan dan penyempurnaan (*dyeing and finishing*) dan unit utilitas. Kegiatan audit teknologi di PT. Z dilakukan pada tanggal 22 – 25 Oktober 2019 yang terdiri dari persiapan, diagnosis atau *quick assessment*, pembuatan laporan, dan presentasi ke manajemen perusahaan. Diagnosis dilakukan untuk memperoleh gambaran umum dan pemahaman tentang objek audit melalui wawancara dengan auditee dan pengamatan lapangan. Dari diagnosis ini disepakati bersama ruang lingkup audit, *current issue* tentang organisasi dan teknologi yang diaudit, struktur organisasi yang diaudit, proses bisnis yang diaudit, teknologi proses produksi dan pendukungnya, bahan baku, serta produk.

Pada kegiatan simulasi audit teknologi ini, lingkup yang disepakati adalah meliputi proses pencelupan (*dyeing*) dan bagian utilitas (boiler dan kompresor). Audit melingkupi keempat komponen teknologi yang menentukan hasil kinerja teknologi. Keempat komponen teknologi tersebut antara lain:

- *Technoware*: komponen fasilitas fisik yang meningkatkan tenaga dan kemampuan manusia dalam menghasilkan produk dan jasa
- *Humanware*: komponen manusia yang memiliki ketrampilan dan keahlian, yang tanpanya technoware tidak berguna
- *Infoware*: komponen dokumen tertulis maupun elektronik yang memungkinkan *humanware* untuk mendapatkan informasi dan belajar lebih cepat
- *Orgaware*: komponen prosedur dan struktur organisasi terimplementasi yang mengkoordinasikan sumber daya dan aktivitas dalam mencapai tujuan.

Prosedur Simulasi Audit Teknologi

Dalam melaksanakan simulasi audit teknologi ini, prosedur yang dilakukan terdiri dari beberapa langkah yaitu:

1. Menentukan perusahaan yang berminat untuk menjadi lokasi audit teknologi. Sebelum pelaksanaan simulasi audit teknologi, perusahaan mendapatkan penjelasan tentang ruang lingkup kegiatan, penjelasan singkat mengenai teknis pelaksanaan, potensi manfaat, dan profil konsultan yang terlibat.
2. Para auditor atau konsultan mengunjungi perusahaan untuk menjelaskan rencana audit. Para auditor harus menjelaskan mengenai: diagram alur proses audit dan potensi manfaat yang dapat dicapai. Rencana audit dirancang bersama manajemen puncak yang di dalamnya berisi hal-hal yang perlu diinvestigasi, cara mengumpulkan data, dan hal-hal yang dibutuhkan dari manajemen agar audit ini berhasil.
3. Melakukan persiapan dengan mengumpulkan informasi awal dari perusahaan sebelum dilakukan diagnosis ke lapangan.
4. Melakukan diagnosis ke lokasi perusahaan. Sebagai alat bantu digunakan kuesioner atau daftar pertanyaan yang di dalamnya berisi tentang: organisasi perusahaan, sumber daya manusia, kemampuan

teknologi, inovasi teknologi, kemampuan inovasi, produk, kerjasama/jaringan, kebutuhan teknologi, kualitas, pemasaran, dan lingkungan.

5. Melakukan analisis data dan membuat laporan diagnosis. Laporan yang dibuat mencakup: ringkasan eksekutif (*executive summary*), profil perusahaan, pemasaran, dan saran perbaikan.
6. Melakukan presentasi hasil simulasi audit teknologi. Diagnosis lanjutan dapat dilanjutkan jika terdapat kesepakatan antara perusahaan dan tim auditor.

Diagnosis Penggunaan Energi

Kegiatan ini dilakukan melalui kegiatan pengamatan, wawancara dan pengumpulan data sekunder. Pengumpulan data primer juga dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang terintegrasi pada mesin yang terkait objek audit atau yang dimiliki perusahaan. Secara umum pengamatan dan data-data yang diperlukan untuk audit teknologi ini adalah:

- Boiler: laju massa batubara (kg/jam), nilai kalor batubara (kJ/kg), temperatur gas buang (°C), kadar oksigen gas buang (%), laju air umpan (m³/h), jumlah bahan padat yang terlarut pada air umpan (TDS), temperatur ambient (°C), bola basah (°C), temperatur bola kering (°C), laju *blowdown* (m³/jam), jumlah bahan padat yang terlarut pada air *blowdown* (TDS), temperatur dinding boiler (°C), luas permukaan boiler (m²), temperatur uap (°C), tekanan uap (bar), kondisi perpipaan, prosedur kerja (SOP)
- Kompresor: jenis, daya listrik (kW), kapasitas (m³/menit), tekanan (Pa), temperatur ruangan (°C), kondisi perpipaan, prosedur kerja (SOP)
- Proses Pencelupan (*dyeing*): kapasitas produksi (kg) atau (m³/menit), temperatur proses (°C), temperatur permukaan dinding mesin (°C), kondisi perpipaan, prosedur kerja (SOP)

Analisis Data Lapangan

Studi peningkatan efisiensi energi melalui simulasi audit teknologi dilakukan dengan menganalisis terhadap data dan informasi yang diperoleh terkait penggunaan energi. Studi terhadap proses pencelupan (*dyeing*) dan proses utilitas dilakukan dengan diagnosis terbatas pada area proses/mesin: *pad thermosol*, *cold pad batch*, *reduction/cleaning*, *scouring*, *washing*, perawatan (*maintenance*), sistem uap, sistem oli panas (*hot oil*), dan kompresor. Proses diagnosis ini dibatasi dan tidak dilakukan secara rinci pada setiap proses detail, mengingat tujuan utama dari studi ini adalah untuk menghitung potensi efisiensi energi secara makro. Sebagai gambaran singkat untuk membantu proses diagnosis, terdapat proporsi penggunaan energi termal yang menunjukkan di mana letak potensi efisiensi energi terbesar di industri pencelupan tekstil seperti ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Penggunaan Energi Termal di Industri Pencelupan (Rata-Rata di Jepang)⁸

Item	Persentase Penggunaan Energi Termal
Pemanasan Produk	16,6%
Pengeringan Produk	17,2%
Panas Hilang Melalui Air Limbah	24,9%
Panas Hilang Melalui Peralatan	12,3%
Panas Hilang Melalui Gas Buang	9,3%
Mesin Berhenti (<i>Idle</i>)	3,7%
Evaporasi dari Permukaan Cairan	4,7%
Kondensat yang Terbuang	4,1%
Panas Hilang Saat Pemanfaatan Kondensat	0,6%
Lainnya	6,6%
Total	100%

Parameter kinerja boiler atau pemanas oli (*hot oil heater*), seperti efisiensi termal, berkurang seiring waktu karena berbagai alasan, seperti pembakaran yang tidak sempurna, perpindahan panas yang buruk, perawatan yang buruk, pengoperasian yang buruk dan kualitas bahan bakar⁵. Oleh karena itu, analisis keseimbangan energi dan massa diperlukan untuk menentukan efisiensi termal. Proses pembangkitan energi termal atau energi masukan (*energy input*) dipengaruhi oleh laju massa batubara dan nilai kalor (*Gross Calorific Value/GCV*) batubara sesuai Persamaan 1 berikut.

$$E_{\text{input}} = m_{\text{batubara}} \times \text{GCV}_{\text{batubara}} \quad (1)$$

Keseimbangan energi membantu dalam mengevaluasi efisiensi boiler melalui penentuan kehilangan panas yang dapat dihindari dan tidak dapat dihindari. Udara pembakaran juga merupakan parameter penting yang mempengaruhi efisiensi boiler. Efisiensi termal merupakan rasio energi keluaran (*ouput energy*) terhadap energi masukan (*input energy*) , sesuai dengan Persamaan 2 sebagai berikut :

$$\Pi_{\text{termal}} = \frac{E_{\text{input}}}{E_{\text{input}}} \quad (2)$$

Pada kompresor dengan usia pemakaian yang sudah lama dapat menyebabkan keausan atau ketidakefisienan pada komponen internal sehingga udara yang dialirkan lebih rendah dari nilai desain, meskipun telah dilakukan perawatan yang baik. Terkadang, faktor lain seperti perawatan yang buruk, penukar panas yang kotor, dan pengaruh ketinggian juga cenderung mengurangi udara yang dialirkan. Untuk memenuhi kebutuhan udara, kompresor yang tidak efisien harus berjalan lebih lama, sehingga menghabiskan lebih banyak daya daripada yang sebenarnya dibutuhkan. Salah satu parameter yang digunakan untuk menilai kinerja kompresor yaitu efisiensi volumetrik dengan Persamaan 3 berikut:

$$\text{Efisiensi Volumetrik} = \frac{\text{Udara yang Dihasilkan } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{menit}}\right)}{\text{Perubahan Volume Ruang Kompresi } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{menit}}\right)} \quad (3)$$

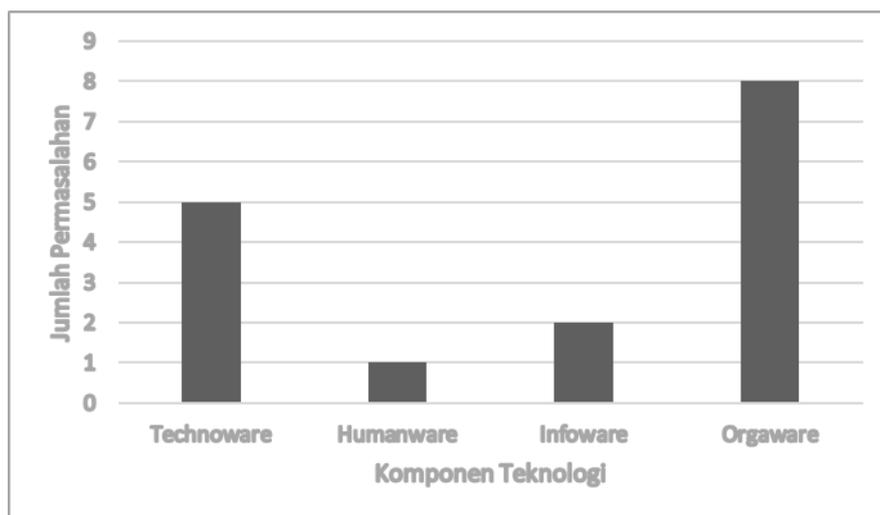
$$\text{Perubahan Volume Ruang Kompresi} = (\pi D^2/4) \times L \times S \quad (4)$$

di mana: D = diameter silinder (m), L = panjang/langkah silinder (m), S = rpm kompresor

Untuk tujuan praktis, panduan paling efektif dalam membandingkan efisiensi kompresor adalah konsumsi daya spesifik, yaitu kW/laju aliran volume, untuk kompresor berbeda yang akan memberikan tugas yang sama.⁶

HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui kegiatan simulasi audit teknologi ini didapatkan data dan informasi berupa profil bisnis dan profil teknologi dari auditee. Dari data dan informasi ini kemudian dilakukan sintesis pada kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman (*strength, weakness, opportunity, and threat* atau SWOT). Studi ini dibatasi pada upaya untuk meningkatkan efisiensi energi dan dilakukan identifikasi permasalahan atau kelemahan yang terkait energi dalam proses pencelupan serta utilitas. Beberapa permasalahan ini diidentifikasi dari keempat komponen teknologi seperti terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Identifikasi Permasalahan Energi pada Komponen Teknologi di PT. Z

Dari pelaksanaan simulasi audit teknologi, permasalahan energi paling banyak ditemukan pada komponen teknologi Orgaware. Hal ini berarti perlunya perbaikan pada aspek prosedur dan struktur organisasi untuk mengkoordinasikan sumber daya dan aktivitas dalam mencapai peningkatan efisiensi energi. Beberapa rekomendasi yang dihasilkan dari kegiatan ini yaitu:

1. Proses Pencelupan

- Perlunya peningkatan pada komunikasi tertulis yang berkaitan dengan setingan proses pencelupan sehingga kemampuan telusur lebih baik.
 - Perlunya peningkatan pada rekaman tertulis pada setiap tindakan perbaikan (*corrective action*) yang telah dilakukan untuk membantu mengatasi kejadian serupa.
 - Sebaiknya dilakukan peningkatan pada pengendalian temperatur dan kelembaban pada proses pembacaman pada proses CPB untuk menghilangkan potensi cacat kain belang.
 - Perlunya peningkatan pada proses kalibrasi alat rotameter untuk memastikan keakuratannya.
 - Perlunya peningkatan budaya 5K pada karyawan.
 - Perlunya peningkatan *maintenace* dan insulasi pada sistem perpipaan pada mesin produksi yang akan mengurangi energi dan air yang terbuang.
2. Utilitas (Boiler & Kompresor)
- Pada sistem pembakaran *chain grate* disarankan untuk menggunakan batubara dengan ukuran sekitar 15 – 25 mm untuk mendapatkan pembakaran yang efisien. Jika batubara yang berbentuk partikel halus akan digunakan, maka sebaiknya tidak melebihi 25% dari total batubara yang digunakan.
 - Diperlukan pengaturan proses produksi dan pengoperasian boiler agar kapasitas boiler dapat optimal dan proses produksi tercukupi kebutuhan uapnya.
 - Sebaiknya volume *blowdown* dilakukan berdasarkan perhitungan terhadap data kualitas air umpan.
 - Untuk pemakaian uap dengan kondisi produksi yang bervariasi, sebaiknya digunakan sistem *blow down* otomatis dengan *TDS controller*.
 - Kondensat memiliki energi termal dan kualitas yang sangat baik, sehingga pemanfaatannya sebagai air umpan boiler akan mengurangi pemakaian batubara, air baku, zat kimia dan listrik untuk pengolahan air baku.
 - Untuk meminimalkan panas hilang melalui gas buang sebaiknya dilakukan pemasangan peralatan pengukur O₂ pada cerobong. Pengendalian volume udara pada ruang bakar boiler uap dan pemanas oli sangat penting untuk peningkatan efisiensi. Udara berlebih yang digunakan dapat menurunkan efisiensi boiler. Untuk setiap penurunan 1 persen udara berlebih, dapat meningkatkan efisiensi sekitar 0,6 persen.
 - Perlu dikaji untuk melakukan penurunan temperatur *oil outlet* secara bertahap dan berhati-hati dibarengi dengan pengaturan jadwal pemakaian *hot oil* di ruang produksi. Penurunan temperatur oli pada pemanas oli merupakan salah satu cara untuk mengurangi pemakaian batubara.
 - Perlunya peningkatan *maintenace* dan insulasi pada katup-katup sistem distribusi uap dan oli panas yang akan mengurangi energi yang terbuang.
 - Sebaiknya selalu dilakukan pengecekan pada steam traps paling sedikit 2 kali dalam setahun. Untuk *steam traps* yang dipasang di luar ruangan, sebaiknya dipasang pelindung atau canopy agar tidak terkena hujan.
 - Kompresor menghasilkan panas pada operasinya yang kontinyu. Panas ini dilepaskan ke ruang kompresor sehingga memanaskan udara masuk. Hal ini mengakibatkan rendahnya efisiensi volumetrik dan pemakaian daya menjadi lebih besar. Sebagai gambaran umum, “Setiap kenaikan suhu udara masuk sebesar 4°C akan meningkatkan konsumsi energi sebesar 1 persen untuk keluaran yang sama”. Jadi udara dingin yang masuk akan meningkatkan efisiensi energi kompresor. Penurunan temperatur ruangan kompresor dapat dilakukan dengan pemasangan *exhaust fan*.

Studi peningkatan efisiensi energi yang menggunakan simulasi audit teknologi ini dilakukan masih dalam tahap diagnosis awal. Dengan persetujuan manajemen perusahaan, audit teknologi ini masih dapat dilanjutkan dengan analisis yang lebih spesifik dan disertai oleh rencana tindakan (*action plan*) yang berisi: lebih spesifik pada subyek, kerangka waktu, *milestones*, perkiraan biaya, hasil yang diharapkan, identifikasi potensi penyelesaian masalah, dan jadwal pengawasan saat implementasi.

KESIMPULAN

Studi peningkatan efisiensi energi melalui simulasi audit teknologi di industri tekstil pencelupan dan pewarnaan telah dilakukan dengan melakukan diagnosis pada proses pencelupan dan utilitas. Hasil simulasi audit teknologi ini menghasilkan data dan informasi berupa profil perusahaan yang terdiri dari profil bisnis dan profil teknologi dari *auditee* yang kemudian dilakukan analisis untuk mencari potensi peningkatan efisiensi energi. Dari studi ini menunjukkan bahwa *orgaware* menjadi komponen teknologi yang perlu diprioritaskan dalam peningkatan efisiensi energi pada proses pencelupan dan utilitas di PT Z.

DAFTAR PUSTAKA

1. P. Eko Prasetyo. Kesiapan Industri Tekstil dalam Mendukung Poros Maritim Peningkatan Daya Saing. *Prosiding Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu Unisbank*. (2015).
 2. Selfa Septiani Aulia dan Tatang Suheri. Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Saing Industri TPT di Wilayah Industri TPT Kabupaten Bandung. *Majalah Ilmiah Unikom* **15(2)**. (2017).
 3. Peraturan Kepala Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi No.007a Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Audit Teknologi.
 4. Vassilis Kelessidis. Technology Audit. *Innoregio: Dissemination of Innovation and Knowledge Management Techniques*. (2000).
 5. Mehdizadeh. H, Alishah. A, Astani. S.A. Study on Performance and Methods to Optimize Thermal Oil Boiler Efficiency in Cement Industry. *Energyequipsys* **4(1)**. (2016).
 6. UNEP. Electrical Energy Equipment: Compressor and Compressed Air System. *Energy Efficiency Guide for Industry in Asia –www.energyefficiencyasia.org*. (2006).
 7. Khalil Elahee. Heat Recovery in the Textile Dyeing and Finishing Industry: Lessons from Developing Economies. *Journal of Energy in Southern Africa* **21(3)**. (2010).
 8. Ali Hasan Beigi and Lynn Price. A Review of Energy Use and Energy Efficiency Technologies for the Textile Industry. *Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*. (2012).
 9. Evy Rusmanida Yanthi, Abdul Basith, dan Jono M Munandar. Analisis Kontribusi Komponen Teknologi pada Perusahaan Jasa Kereta Api Barang dengan Pendekatan Model Teknometrik. *Jurnal Manajemen Teknologi* **17(3)**. (2018).
 10. Didik Eko Cahyono dan Hana Catur Wahyuni. Penilaian Teknologi Menggunakan Analytical Hierarchy Process dan Teknometrik di Departemen Produksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri* **14(2)**. (2015).
-

STUDI PENDEKATAN KEMANFAATAN BERSAMA (*CO-BENEFIT APPROACH*) PADA PENGENDALIAN POLUSI UDARA MELALUI PERBAIKAN OPERASIONAL SISTEM UAP DI INDUSTRI TEKSTIL

CO-BENEFIT APPROACH STUDY ON AIR POLLUTION CONTROL THROUGH THE OPERATIONAL IMPROVEMENT OF THE STEAM SYSTEM IN THE TEXTILE

Mukti Widodo, Mulia Hendra, Herman Fitrianto

Balai Besar Tekstil
Jl. Jenderal A Yani No.390 Bandung, 022 7206214/022 7271288
E-mail: bbt@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Pendekatan kemanfaatan bersama atau *co-benefit approach* pada pengendalian polusi udara merupakan kegiatan mitigasi emisi gas rumah kaca yang sekaligus didapatkan manfaat berupa penghematan energi dan pengurangan polusi udara. Ruang lingkup studi pada kegiatan ini yaitu perbaikan pada operasional sistem uap yang terdiri dari pembangkitan, distribusi dan penggunaan uap pada proses pencelupan dan penyempurnaan (*dyeing and finishing*) dengan biaya yang kecil atau tanpa investasi. Metode penelitian berupa diagnosis yang terdiri dari wawancara, observasi, pengumpulan data, pengukuran, identifikasi potensi penghematan energi, dan dilanjutkan dengan implementasi saran perbaikan serta evaluasi peningkatan efisiensi energi. Yang menjadi pengamatan dalam penelitian ini yaitu efisiensi panas pada *boiler*, rasio udara pembakaran, *heat recovery* dari kondensat, proses *blowdown*, insulasi perpipaan, pemasukan bahan bakar, dan pengoperasian. Melalui perhitungan dan analisis terhadap item-item perbaikan yang dilakukan, potensi rasio penghematan energi yang dapat dicapai berkisar antara 0,24% sampai dengan 15,1%. Dengan asumsi tingkat produksi sama dengan tahun sebelumnya, evaluasi terhadap implementasi kegiatan *co-benefit* di lokasi studi menunjukkan terdapat potensi pengurangan konsumsi batubara sebesar 5.701 ton batubara/tahun dan pengurangan emisi sebesar 11.182 ton CO₂/tahun.

Kata kunci: kemanfaatan bersama (*co-benefit*), *boiler*, batubara, efisiensi, pencelupan, penyempurnaan, tekstil

ABSTRACT

The co-benefit approach to air pollution control is an activity to mitigate greenhouse gas emissions which simultaneously benefits in the form of energy savings and air pollution reduction. The scope of the study in this activity is the improvement of steam system operations, which consists of generation, distribution and use of steam in the dyeing and finishing process at low cost or without investment. The research method is the diagnosis consisting of interviews, observation, data collection, measurement, identification of potential energy savings, followed by the implementation of suggestions for improvement and evaluation of energy efficiency improvements. The observations in this study are heat efficiency in the boiler, combustion air ratio, condensate heat recovery, blowdown, piping insulation, fuel intake, and operation. By calculating and analyzing the improvement items carried out, the potential energy saving ratio that can be achieved ranges from 0.24% to 15.1%. Assuming the production level is the same as the previous year, an evaluation of the implementation of co-benefit activities at the study location shows that there is a potential for reduction of coal consumption of 5,701 tons of coal/year and a reduction in emissions of 11,182 tons of CO₂/year.

Keywords: *co-benefit, boiler, coal, efficiency, dyeing, finishing, textiles*

PENDAHULUAN

Industri tekstil khususnya industri pewarnaan dan pencelupan (*dyeing & finishing*) dalam aktivitas produksinya masih menghasilkan pencemaran udara yaitu berupa emisi gas buang dari pembakaran batubara pada *boiler* yang dikeluarkan lewat cerobong yang terdiri dari NO₂, CO, CO₂, dan SO₂ dan bahan pencemar berupa partikulat (debu). Emisi gas buang dari *boiler* ini akan berdampak global dalam bentuk Gas Rumah Kaca (GRK). Gas yang dikategorikan sebagai GRK adalah gas-gas yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global, di antaranya karbon dioksida (CO₂), gas metan (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), sulfur heksafluorida (SF₆), perfluorokarbon (PFCS) dan hidrofluorokarbon (HFCS), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), klorofluorokarbon (CFC), dan

gas-gas organik *non metal volatile*. Pemanasan global akan memicu perubahan iklim yang menyebabkan berubahnya faktor-faktor iklim seperti curah hujan, penguapan, dan temperatur.² Di antara emisi GRK, CO₂ berkontribusi besar terhadap pemanasan global.³

Boiler merupakan bejana tertutup yang memberikan panas melalui proses pembakaran yang disalurkan ke air sampai terbentuk uap atau *steam*. Uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk memanaskan suatu proses. Air biasa digunakan sebagai media yang efektif dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Pada tekanan atmosfer, jika air dididihkan sampai menjadi uap, volumenya dapat meningkat menjadi sekitar 1.600 kali dan menghasilkan gaya tekan yang sangat besar.⁴ Sistem *boiler* terdiri dari: sistem air umpan (*feed water*), sistem uap (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*). Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam *boiler*. Uap dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap diatur menggunakan katup dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sedangkan sistem bahan bakar merupakan semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada *boiler*.⁴

Dalam proses perubahan air menjadi uap dapat terjadi kehilangan panas atau rugi-rugi dalam berbagai cara.⁷ Rugi-rugi yang cukup signifikan diakibatkan oleh proses perpindahan panas konveksi dan radiasi yang dipengaruhi oleh penggunaan insulator termal. Sedangkan peralatan dengan sistem kendali dalam operasional *boiler* dapat juga digunakan untuk meminimalisir kehilangan panas. Banyak *boiler* di industri tekstil masih belum menggunakan sistem kendali pada pemasukkan udara ke ruang bakar untuk mendapatkan proses pembakaran yang efisien. Sistem kendali juga belum digunakan pada mekanisme utama untuk mengontrol kandungan zat kimia dari air *boiler* atau *blowdown*. *Blowdown* berperan penting untuk memastikan bahwa fungsi *boiler* andal dan tidak terjadi *unplanned shutdown* atau kegagalan.⁶

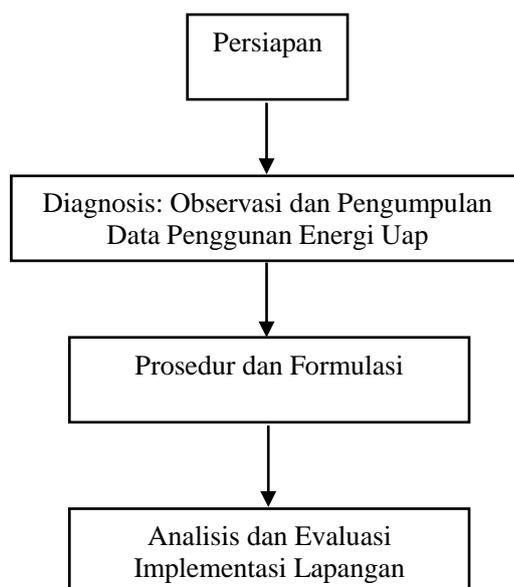
Uap yang dihasilkan oleh *boiler* digunakan oleh industri tekstil untuk proses pewarnaan dan penyempurnaan. Proses pewarnaan dan penyempurnaan dinamakan proses basah (*wet processing*) karena memerlukan air panas/hangat sebagai media proses. Dalam hal ini, proses tersebut memerlukan uap (*steam*) untuk memanaskan air. Kedua proses ini menggunakan panas dari uap dalam kondisi saturasi atau uap jenuh (*saturated steam*). Pada proses pewarnaan dan penyempurnaan konvensional, air panas dari hasil proses-proses tersebut masih terbuang percuma.⁵ Panas juga dapat terbuang melalui sistem distribusi dan mesin-mesin yang tidak terinsulasi secara baik.

Dengan semakin pentingnya penurunan emisi gas rumah kaca bagi kelestarian bumi, maka dalam penelitian ini telah dilakukan studi implementasi *co-benefit* yang merupakan bagian dari kegiatan mitigasi emisi gas rumah kaca dengan cara mencari potensi penghematan energi pada pengoperasian sistem *boiler* uap dan akan berdampak pula pada pengurangan polusi udara di salah satu industri tekstil pencelupan dan penyempurnaan. Hasil studi ini diharapkan dapat diaplikasikan juga di industri tekstil sejenis dan dipertimbangkan untuk dapat mengembangkannya dengan penambahan peralatan dengan sistem kendali yang lebih baik dan jika memungkinkan dengan investasi mesin-mesin yang hemat energi.

METODE

Lokasi dan Ruang Lingkup Penelitian

Kegiatan diagnosis dilaksanakan di salah satu industri tekstil di wilayah Bandung Raya, Jawa Barat (PT.X) pada sistem uap dan unit produksi pencelupan dan penyempurnaan (*dyeing and finishing*). Kegiatan *co-benefit* di PT.X dilakukan dalam rentang waktu Oktober 2017 sampai dengan Februari 2018. Kegiatan penelitian mengikuti diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Objek utama kegiatan adalah mesin/peralatan/sistem yang berhubungan dengan pembangkitan, distribusi, dan penggunaan energi termal di antaranya *boiler* uap, sistem air umpan (*feed water*), sistem distribusi uap, mesin celup sistem jet (*jet dyeing machine*), dan sistem air kondensat. Kegiatan analisis data dan evaluasi dilakukan di Balai Besar Tekstil Bandung.



Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan Studi *Co-Benefit Approach*

Observasi dan Pengumpulan Data Penggunaan Energi Termal

Kegiatan ini dilakukan melalui kegiatan observasi, pengukuran dan pengumpulan data konsumsi energi termal. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data primer dilakukan dengan menggunakan peralatan ukur eksternal dan alat ukur yang terintegrasi pada peralatan/sistem yang menjadi objek penelitian. Parameter-parameter pengukuran yang diperlukan dari suatu *boiler* tergantung pada batas yang ditetapkan, peralatan ukur yang tersedia, dan kondisi pengukuran. Akan tetapi secara umum data-data yang diperlukan di dalam melakukan pengukuran pada *boiler* adalah:

- Bahan bakar: laju massa (kg/h), temperatur (°C), dan tekanan (kg/cm²).
- Gas buang: Laju air/volume gas buang (m³/h), temperatur (°C), dan komposisi gas buang (%CO₂, %CO, %O₂, dan %SO₂).
- Air pengisi *boiler*: laju air (m³/h), jumlah bahan padat yang terlarut (TDS) dan tekanan (kg/cm²).
- Udara pembakaran: temperatur ambient (°C), bola basah (°C), dan temperatur bola kering (°C)
- Air *blowdown*: laju air (m³/h), jumlah bahan padat yang terlarut (TSD), dan temperatur (°C).
- Dinding *boiler*: temperatur (°C) dan luas permukaan (m²).
- Uap: laju air (m³/h), temperatur (°C), tekanan, dan kualitas uap.

Prosedur dan Formulasi

Studi *co-benefit* pada perbaikan sistem uap dilakukan dengan menganalisis estimasi capaian penghematan konsumsi energi dan pengurangan emisi CO₂ melalui kalkulasi terhadap data yang diperoleh. Studi terhadap proses di *boiler* dan mesin pencelupan (*dyeing*) dilakukan dengan diagnosis terbatas pada item-item: efisiensi termal *boiler*, rasio udara pembakaran, kondensat, air *blowdown*, insulasi perpipaan, pemasukan batubara ke ruang bakar, pengoperasian mesin. Proses diagnosis ini dibatasi dan tidak dilakukan secara rinci pada setiap proses detail, mengingat tujuan utama dari studi ini adalah untuk menghitung potensi penghematan energi dan pengurangan emisi CO₂ secara makro.

Proses pembangkitan energi termal atau energi masukan (*energy input*) diperoleh dari pembakaran batubara dan dihitung menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$E_{input} = m_{batubara} \times GCV_{batubara} \quad (1)$$

di mana,

$m_{batubara}$: laju massa batubara (kg/jam)

$GCV_{batubara}$: *Gross Calorific Value*/nilai kalor kotor (kJ/kg)

Energi yang diperoleh dari batubara ini sebagian digunakan untuk fungsi utamanya yaitu untuk mengubah air menjadi uap jenuh (*saturated steam*) dan dihitung dengan Persamaan 2 berikut.

$$E_{uap} = m_{uap} \times h_{fg} \quad (2)$$

di mana,

m_{uap} : laju massa uap (kg/jam),

h_{fg} : entalpi uap jenuh (kJ/kg)

Efisiensi *boiler* merupakan rasio panas yang diserap oleh air umpan (*feedwater*) untuk menghasilkan uap dan energi masukan bahan bakar, dihitung dengan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$\pi_{boiler} = \frac{E_{uap}}{E_{input}} = \frac{m_{uap} \times h_{fg}}{m_{batubara} \times GCV_{batubara}} \quad (3)$$

Sebagian energi lainnya dari pembakaran batubara hilang ke lingkungan atau rugi-rugi (*losses*). Salah satu rugi-rugi itu adalah melalui cerobong berupa gas buang (*stack loss*). Parameter operasi yang mempengaruhi rugi-rugi gas buang adalah; suhu gas buang dan *excess air* (O₂ pada gas buang). Semakin rendah suhu gas buang dan semakin rendah *excess air*, semakin sedikit rugi-rugi energi ke cerobong. Energi yang hilang lewat gas buang dihitung dengan Persamaan 4 berikut:

$$\% \text{ Energi Hilang Lewat Gas Buang} = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{GCV_{batubara}} \quad (4)$$

di mana,

- m : massa gas buang kering (kg),
- C_p : panas spesifik gas buang (kJ/kg°C),
- T_f : temperatur gas buang (°C),
- T_a : temperatur ambien (°C)

Bagian energi lainnya yang hilang melalui rugi-rugi yaitu *blowdown*. Dalam perhitungannya, massa *blowdown* dipengaruhi oleh konduktivitas air umpan (*feedwater*) dan konduktivitas air *blowdown*. Massa *blowdown* dan rugi akibat *blowdown* dihitung dengan Persamaan 5 sebagai berikut:

$$\beta = \frac{\text{Laju Blowdown}}{\text{Laju Air Umpan}} \approx \frac{\text{Konduktivitas Air Umpan}}{\text{Konduktivitas Blowdown}} \quad (5)$$

$$m_{blowdown} = \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right) \times m_{uap}$$

$$L_{blowdown} = m_{blowdown} (h_{blowdown} - h_{air \text{ umpan}})$$

di mana,

- β : rasio konduktivitas elektrik,
- m_{blowdown} : massa *blowdown* (kg/jam)
- m_{uap} : massa uap (kg/jam)
- h_{blowdown} : entalpi *blowdown* (kJ/kg)
- h_{air umpan} : entalpi air umpan (kJ/kg)

Sedangkan rugi-rugi lainnya yaitu diakibatkan oleh radiasi dan konveksi pada permukaan mesin dan peralatan yang memiliki temperatur tinggi. Rugi-rugi akibat radiasi dan konveksi yang sebenarnya sulit untuk dinilai karena emisivitas tertentu dari berbagai permukaan, kemiringan, pola aliran udara, dan lain-lain. Umumnya pada *boiler* kecil untuk keperluan industri terjadi rugi-rugi radiasi dan konveksi sekitar 2%.⁴ Salah satu formulasi yang dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi ini adalah menggunakan Persamaan 6 sebagai berikut:

$$L_{radiasi} = 0,548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] + \left[1,957 \times (T_s - T_a)^{1,25} \times \sqrt{\left(\frac{196,85 V_m + 68,9}{68,9} \right)^2} \right] \quad (6)$$

di mana,

- V_m : kecepatan angin (m/detik),
- T_s : temperatur permukaan (K),
- T_a : temperatur ambien (K)

Sedangkan untuk proses *dyeing* menggunakan program temperatur yang ditunjukkan pada Gambar 2. Program ini merupakan siklus temperatur – waktu sesuai dengan sistem pencelupan kain polyester yang digunakan oleh industri tekstil yang diamati.¹¹ Proses *dyeing* ini menggunakan rentang temperatur 30°C sampai 145°C. Pada proses pencelupan, proses pemanasan menggunakan uap yang dibangkitkan oleh *boiler*, sedangkan air digunakan untuk proses pendinginan. Proses pemanasan dan pendinginan dilakukan melalui perangkat penukar panas (*heat exchanger*) pada mesin *jet dyeing*.



Gambar 2. Program Temperatur Proses Pencelupan Kain¹¹

Analisis dan Evaluasi Implementasi Lapangan

Kegiatan implementasi lapangan dilanjutkan dengan proses monitoring dan evaluasi capaian efisiensi energi, dilakukan mulai Januari 2018. Evaluasi hasil implementasi dilakukan dengan menghitung konsumsi energi termal dan emisi CO₂ pada periode implementasi. Nilai parameter-parameter tersebut kemudian diperbandingkan dengan data *baseline* pada periode pengamatan sebelumnya, untuk mendapatkan nilai rasio penghematan. Beberapa parameter yang dianalisis dan dievaluasi yaitu:

- Faktor beban (*load factor*) pada *boiler*
- Rasio udara pembakaran
- Proses *blowdown*.
- Pemanfaatan panas kondensat
- Insulasi perpipaan (uap dan kondensat)
- Kinerja ekonomiser
- Insulasi tangki air umpan
- Insulasi mesin *jet dyeing*

Peralatan yang digunakan

- Pengukuran temperatur menggunakan *Portablesurface Temperature Indicator* (Hanna Instrument HI 9063), *Infrared Thermometer* (FLUKE 568) dan *Thermal Camera*.
- Pengukuran parameter kelistrikan menggunakan *Power Quality Analyzer* (Kyoritsu 6310-03 dan Hioki PW3198-90).
- Pengukuran kualitas gas/udara pembakaran menggunakan *Portable Gas Analyzer* (MRU GmbH Spectra 2000).
- Pengukuran deteksi kebocoran udara bertekanan menggunakan *Ultrasonic Leak Detector* (Amprobe TMULD-300).
- Pengukuran konduktivitas air *blowdown* menggunakan *Conductivity Meter* (Sato Tech)
- Pengukuran penggunaan air umpan menggunakan *Flow Meter* dan *Meter Numerical Reading Camera*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui pengamatan dan pengumpulan data lapangan dapat diidentifikasi beberapa permasalahan. Pada kegiatan ini dilakukan perbaikan pada permasalahan yang bersifat operasional dan berbiaya rendah di antaranya masih rendahnya efisiensi termal sistem *boiler* dan cukup signifikannya energi yang hilang (rugi-rugi atau *losses*) yang berpindah ke lingkungan melalui gas buang, *blowdown*, serta permukaan peralatan dan mesin yang berhubungan dengan energi termal. Beberapa permasalahan yang teridentifikasi tersebut ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Permasalahan yang Ditemukan

Item Permasalahan	Perhitungan*
Rendahnya efisiensi termal sistem <i>boiler</i>	66,35%
Konsentrasi oksigen pada gas buang (<i>flue gas</i>) masih relatif tinggi	11,5%.

Item Permasalahan	Perhitungan*
Jumlah <i>blowdown</i> masih relatif tinggi	6,2%.
Kondensat masih banyak yang dibuang dan belum dimanfaatkan	70%
Panas hilang melalui dinding mesin <i>jet dyeing</i> masih relatif tinggi	30%
Masih ditemukannya permukaan pada sistem perpipaan, katub, penukar panas, ekonomiser, mesin <i>dyeing</i> , saluran/ <i>ducting</i> dan tangki air umpan masih yang belum terinsulasi,	170 m ²

*Perhitungan dilakukan terhadap data yang diperoleh melalui pengukuran terhadap kondisi pengoperasian di industri dan data yang diperoleh dari pihak industri

Pada pembangkitan uap, sistem *boiler* digunakan secara simultan yang terdiri dari dua buah *boiler* yaitu *Boiler A* dan *Boiler B* dengan masing-masing memiliki kapasitas 10 ton/jam. Berdasarkan pengumpulan dan perhitungan data, *Boiler A* memiliki efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan *Boiler B*. Estimasi efisiensi termal sistem *boiler* pada saat beroperasi dalam satu tahun dihitung berdasarkan konsumsi batubara, penggunaan air (*feed water*), dan jumlah *blowdown*. Sistem *boiler* dioperasikan pada kondisi tekanan 0,7 MPa dan temperatur 170°C. Perhitungan efisiensi termal untuk sistem *boiler* ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Efisiensi Termal

Parameter	Satuan	<i>Boiler A</i>	<i>Boiler B</i>	Sistem <i>Boiler</i>
Jumlah Air Umpan/Batubara	m ³ /ton	7,8	5,0	5,8
Faktor Evaporasi	ton(U)/ton(B)	7,3	4,7	5,4
Energi pada Uap	GJ/kg	19,1	12,3	14,2
Energi Penguapan Air Umpan	GJ/kg	19,4	12,5	14,4
Efisiensi Termal	%	89,48	57,45	66,35

Sebelum perbaikan, efisiensi termal sistem *boiler* sebesar 66,35%. Efisiensi sistem *boiler* ini terdiri dari efisiensi termal *Boiler A* sebesar 89,48% dengan faktor beban sebesar 37,5%. dan efisiensi termal *Boiler B* sekitar 57,45% dengan faktor beban sebesar 62,5%. Pengoperasian sistem *boiler* secara selektif perlu dilakukan yaitu dengan memprioritaskan penggunaan *Boiler A* yang memiliki efisiensi termal yang lebih baik. Perbaikan lainnya yang perlu dilakukan yaitu dengan mengurangi potensi hilangnya panas atau rugi-rugi pada proses pembangkitan maupun distribusi uap. Tindakan perbaikan serta potensi penghematan energi dan pengurangan emisi CO₂ ditampilkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Tindakan dan Potensi Perbaikan

Tindakan Perbaikan	Potensi Penghematan (%)*	Penghematan Batubara (Ton/Tahun)	Pengurangan Emisi CO ₂ (Ton CO ₂ /Tahun)
Pengoperasian Sistem <i>Boiler</i> secara Selektif	15,1	2.694	5.284
Pengurangan Kadar Oksigen Dalam Gas Buang	1,2	216	424
Optimasi <i>Blowdown</i>	0,56	100	197
Pemanfaatan Kondensat	4,9	868	1.704
Insulasi Sistem Perpipaan Uap	0,71	126	248
Insulasi Sistem Perpipaan Kondensat	0,44	78	154
Insulasi Saluran Gas Buang dan Ekonomiser	0,45	81	158
Insulasi Tangki Air Umpan	0,24	42	83
Insulasi Mesin <i>Jet Dyeing</i>	8,4	1.495	2.933

*Perhitungan dilakukan terhadap data yang diperoleh melalui pengukuran terhadap kondisi pengoperasian di industri, data yang diperoleh dari pihak industri, data literatur, proyeksi data setelah tindakan perbaikan, dan menggunakan asumsi yang dianggap sesuai dengan keadaan industri.

Kondisi sebelum perbaikan, *Boiler A* dan *Boiler B* dioperasikan secara bersamaan untuk memenuhi kebutuhan uap sebesar 8,32 ton/jam dengan konsumsi total batubara sebesar 17.812 ton/tahun. Untuk memperbaiki kinerja sistem *boiler*, maka faktor beban *Boiler A* dinaikan menjadi 96,1% dan faktor beban *Boiler B* diturunkan menjadi 3,9% dari kebutuhan uap. Dengan kondisi pengoperasian yang diperbaiki ini, konsumsi batubara berpotensi turun menjadi 8.415 ton/tahun.

Pengurangan rugi-rugi atau *losses* merupakan tindakan perbaikan untuk mengurangi perpindahan panas dari sistem ke lingkungan. Pengurangan kadar oksigen pada gas buang dari 11,5% menjadi 9% berpotensi mengurangi energi hilang melalui gas buang yang setara pembakaran batubara sebesar 216 ton/tahun. Pengurangan kadar oksigen ini dilakukan secara hati-hati dengan mengamati adanya sisa batubara yang tidak terbakar pada abu batubara (*bottom ash*). Pada proses *blowdown*, pengurangan persentase *blowdown* dari 6,2% menjadi 2,4% berpotensi mengurangi penggunaan batubara sebesar 100 ton/tahun. Pengurangan *blowdown* dapat dilakukan dengan penggunaan kembali kondensat yang memiliki konduktivitas elektrik sebesar 0,07 mS (dibandingkan air baku/*makeup water* sebesar 0,31 mS) sehingga kualitas air *boiler* akan lebih baik. Sedangkan jika 90% kondensat yang dihasilkan dari mesin pencelupan dikumpulkan pada tangki air umpan dan digunakan sebagai air *boiler* secara langsung, maka berpotensi terjadi penghematan energi yang ekuivalen dengan pemakaian batubara 868 ton/tahun.

Tindakan lainnya untuk mengurangi rugi-rugi yaitu dengan mengurangi perpindahan panas radiasi dan konveksi melalui pemasangan insulator yang memiliki ketebalan 0,025 m dan konduktivitas termal 0,049 W/mK. Sistem perpipaan uap mendistribusikan uap jenuh pada temperatur 170°C dan tekanan 0,7 MPa. Pemasangan insulator pada sistem perpipaan uap berpotensi mengurangi konsumsi batubara sebesar 126 ton/tahun. Sedangkan sistem perpipaan kondensat menghantarkan kondensat dengan temperatur 100 °C dari mesin pencelupan menuju tangki air umpan. Pemasangan insulator pada sistem perpipaan kondensat berpotensi mengurangi konsumsi batubara sebesar 78,4 ton/tahun. Pada saluran gas buang dan ekonomiser dihantarkan gas buang dengan temperatur di atas 200°C dan gas buang tersebut dimanfaatkan panasnya untuk memanaskan pasokan udara ruang bakar *boiler* agar efisiensi termal dapat meningkat. Dengan pemasangan insulator pada saluran gas buang dan ekonomiser berpotensi mengurangi konsumsi batubara sebesar 81 ton/tahun untuk dua unit *boiler*. Peralatan sistem termal lainnya yaitu tangki air umpan yang digunakan untuk menyimpan air umpan sebelum dimasukkan ke dalam *boiler*. Permukaan tangki umpan ini memiliki temperatur 95°C. Pemasangan insulasi pada permukaan tangki air umpan berpotensi mengurangi panas yang hilang setara dengan konsumsi batubara 42 ton/tahun untuk dua unit *boiler*. Mesin pencelupan jenis jet (*jet dyeing*) menggunakan siklus temperatur pada rentang 30°C sampai 145°C. Pemasangan insulator pada mesin *jet dyeing* berpotensi mengurangi konsumsi batubara sebesar 1.495 ton/tahun untuk 21 unit mesin.

KESIMPULAN

Studi secara makro tentang kegiatan *co-benefit approach* pada pengendalian polusi udara melalui perbaikan operasi sistem uap di industri tekstil pencelupan dan pewarnaan telah dilakukan dengan melakukan diagnosis pada sistem uap. Dari tindakan perbaikan terhadap item-item yang dianalisis, terdapat potensi penghematan penggunaan batubara mulai dari 0,24% sampai 15,1%. Dengan asumsi tingkat produksi sama dengan tahun sebelumnya, evaluasi terhadap implementasi kegiatan *co-benefit approach* di lokasi studi menunjukkan terdapat potensi pengurangan konsumsi batubara sebesar 5.701 ton batubara/tahun dan pengurangan emisi sebesar 11.182 ton CO₂/tahun

DAFTAR PUSTAKA

1. Pusdatin Kemenperin. Analisis Perkembangan Industri. Edisi I. (2019)
2. Setiawan, Y., Surahman, A., & Kailani, Z. Pencemaran Emisi *Boiler* Menggunakan Batubara pada Industri Tekstil serta Kontribusinya terhadap Gas Rumah Kaca (GRK). *Arena Tekstil* **27**(2). (2012).
3. Lilin Indrayani. Perhitungan Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Industri Batik Berdasarkan Metode IPCC Guidelines. *Jurnal Envir.* (2006).
4. UNEP : Thermal Energy Equipment : *Boiler & Thermic Fluid Heaters*. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. *United Nations Environment Programme*. (2006).
5. Koeshardono, F., Djodikusumo, I., & Riyanto, H. Kaji Konservasi Energi Pemanfaatan Panas Limbah Proses *Dyeing*, Drying dan Stentering Pabrik Tekstil. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV Universitas Gadjah Mada*. (2012).
6. Muhammad Firdausi & Komarudin. Peluang Penghematan Energi pada Sistem Uap di Industri Tekstil. *Sainstech* **25**(2). (2015).
7. Sudirman Palaloi. Analisis Potensi Penghematan Energi pada *Boiler* di Pabrik Tekstil. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*. (2014).
8. Einstein, D., Worrell, E., Khrushch, M. Systems in Industry: Energy Use and Energy Efficiency Improvement Potentials. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. (2001) <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/789187-uTGqsP/native>
9. Sivakumar, A. Performance Analysis and Excess Air Optimization in Fuel Combustion of 210 MW *Boiler*. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology* **8**(1). (2017).
10. Karthikeyan A.K. Energi Performance Assesment of *Boilers*. *VIT University*. (2014).
11. Balai Besar Tekstil. Co-Benefit Diagnosis di Industri Tekstil. *Laporan Kegiatan*. (2018).

EKSPLORASI MOTIF TENUN IKAT DAYAK IBAN

THE EXPLORATION OF DAYAK IBAN IKAT WEAVING MOTIF

Nadiah Husna,¹ Ratna Panggabean²

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung 40132, Indonesia, Telp. +62-22-2501214
E-mail: ¹naddsea98@gmail.com, ²ratnapgb@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki berbagai macam tenun tradisional, salah satunya adalah tenun tradisional suku Dayak Iban yang berada di Kalimantan Barat, tepatnya di daerah Kapuas Hulu. Tenun yang dimiliki oleh suku Dayak Iban terbagi kedalam 4 kelompok besar berdasarkan teknik dan kesulitannya, yakni tenun Sidan, tenun Ikat, tenun Sungkit dan tenun Pileh. Tradisi menenun suku Dayak Iban ini dilakukan sebagai ritual adat sejak perempuan menginjak usia remaja dan diajarkan turun temurun secara verbal tanpa dokumentasi tertulis sehingga banyak motif yang tidak diketahui nama dan maknanya. Seiring berjalannya waktu, kebudayaan menenun suku Dayak Iban kian ditinggalkan, jumlah penenun suku Dayak Iban semakin berkurang dan sedikitnya inovasi dalam segi motif membuat eksistensi tenun Dayak Iban kian pudar. Maka dari itu diperlukan kebaruan dalam motif tenun Dayak Iban khususnya tenun ikat. Sedikitnya studi literatur mengenai tenun Dayak Iban, membuat observasi dan survei lapangan menjadi komponen penting untuk tetap mempertahankan nilai-nilai budaya suku Iban, seperti flora dan fauna khas daerah sekitar tempat tinggal mereka ataupun barang yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hasil tinjauan lapangan dan studi literatur tersebut digunakan untuk membuat eksplorasi motif baru tenun Dayak Iban dengan harapan memperkuat eksistensinya.

Kata kunci: Dayak Iban, Kalimantan Barat, motif, tenun, tenun Ikat

ABSTRACT

Indonesia has many varieties of traditional weaving, one of them is the Dayak Iban traditional weaving which located in Kapuas Hulu, West Kalimantan. The Dayak Iban traditional weaving has 4 categories based on its technique and complexities, to be specific tenun Sidan, tenun Ikat, tenun Sungkit, and tenun Pileh. The tradition of weaving in Dayak Iban used to carried out as traditional ritual for women who just reach her adolescence and it was taught by generation to generation verbally without written documentation because of that, many motifs have unknown names and meanings. Over time, modern era made Dayak Iban weaving tradition progressively abandoned, the numbers of Dayak Iban weavers decreasing and the lack of innovation in terms of motif tenun made the existence of Dayak Iban weaving is fading. The lack of literature studies on Dayak Iban Weaving makes the field observation and surveys are important component in retaining the Iban culture, such as flora and fauna which typical of the area around where they live, or the items they used in everyday life. The results of this research are used to explore new motifs of Dayak Iban weaving which intended to strengthen its existence.

Keywords: Dayak Iban, West Kalimantan, motif, weaving, Ikat weaving

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki berbagai macam warisan kebudayaan dari berbagai daerah, salah satunya adalah tenun. Budaya menenun di Indonesia tersebar di berbagai daerah ataupun suku, salah satu daerah yang memiliki kebudayaan tenun yaitu Kalimantan Barat, tepatnya di daerah Kapuas Hulu. Budaya menenun di Kapuas Hulu dilakukan oleh suku Dayak Iban yang tinggal di daerah tersebut. Berdasarkan buku berjudul Tenun Ikat Dayak Desa yang disusun oleh Tim DEKRANAS (2014), tradisi menenun suku Dayak Iban merupakan salah satu ritual adat yang dilakukan oleh perempuan sejak menginjak usia dewasa.¹ Tradisi ini diajarkan secara turun temurun secara verbal namun tidak memiliki catatan tertulis yang lengkap.

Kain tenun suku Iban secara tradisional digunakan sebagai pakaian yang menutupi bagian bawah tubuh ataupun sebagai alas meja untuk ritual *Ngayau*. Budaya menenun suku Iban yang erat dengan ritual adat lainnya memiliki banyak pantangan dan ritual sebelum menenun yang dahulu dilakukan oleh penenun Iban. Namun, seiring berkembangnya zaman hal-hal tersebut semakin ditinggalkan dan tradisi ini kian meredup terutama di era 1980-an.¹

Jumlah penenun Dayak Iban kian menurun, tetua yang mahir menenun semakin berkurang dan tidak menurunkan semua ilmunya pada generasi muda. Selain hal-hal tersebut, faktor lain yang menyebabkan budaya ini semakin ditinggalkan adalah kesibukan generasi muda yang telah menerima pendidikan formal

membuat waktu untuk belajar tentang budaya ini berkurang dan faktor ekonomi yang membuat generasi muda memilih pekerjaan lain.

Upaya untuk menjaga tradisi menenun suku Dayak Iban telah dilakukan pemerintah melalui dokumentasi dalam buku berjudul *Tenun Ikat Dayak Desa* yang disusun oleh Tim DEKRANAS.¹ Namun, upaya tersebut masih hanya sebatas dokumentasi kain tenun Iban yang sudah ada beserta makna motifnya, sedikit sekali upaya dalam hal kebaruan yang dilakukan. Upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah ataupun desainer Indonesia masih terbatas pada penggunaan kain tenun Iban dan penggabungan teknik tenun Iban saja. Maka dari itu, muncul rumusan masalah berupa sedikitnya kebaruan motif dalam tenun Dayak Iban terutama tenun Ikat.

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat kebaruan motif tenun Ikat Dayak Iban. Kebaruan tersebut dilakukan dengan tetap mempertahankan nilai-nilai budaya suku Iban.

METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini berupaka teknik pengumpulan data. Teknik tersebut dibagi dalam tiga kelompok yakni wawancara, observasi, dan eksplorasi.

Wawancara

Metode ini dilakukan karena studi literatur mengenai tenun suku Dayak Iban sangat sedikit ditemui. Wawancara dilakukan dengan pihak-pihak yang berkaitan erat dengan suku Dayak Iban seperti pengrajin suku Iban, jenama busana, atau desainer yang menggunakan tenun Iban, tim DEKRANAS yang telah meneliti tenun Iban.

Observasi

Metode ini dilakukan mengamati langsung kehidupan suku Dayak Iban di Kapuas Hulu tepatnya pada dusun Kelayam Nguji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh informasi konkrit sekaligus ikatan emosi yang dapat diterjemahkan ke dalam motif.

Eksplorasi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa eksplorasi visual yang terinspirasi dari kehidupan suku Dayak Iban saat ini dan kekayaan alam di sekitar tempat tinggal suku Iban.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Lapangan

Penelitian ini menggunakan dua jenis data lapangan, yakni hasil wawancara dengan narasumber dan hasil survei langsung ke lokasi penenun di Dusun Kelayam, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat.

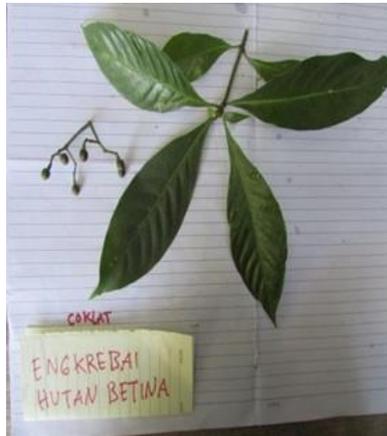
Wawancara dilakukan dengan salah satu peneliti tim DEKRANAS yang sekaligus menjabat sebagai ketua Warlami dan *founder* dari Rumah Rakuji—salah satu *brand* lokal yang menggunakan kain tenun Iban pada produknya, yakni Bu Myra Widiono. Menurut beliau, kain tenun Dayak Iban dapat dikelompokkan berdasarkan teknik dan ukurannya. Berdasarkan teknik pembuatannya, tenun Dayak Iban terbagi ke dalam empat jenis, yaitu tenun Sidan, tenun Ikat, tenun Sungkit dan Tenun Pileh (Gambar 1). Sedangkan berdasarkan ukurannya, tenun Dayak Iban terbagi ke dalam dua jenis, yakni tenun Kebat dan tenun Pua.



Gambar 1. (a) Tenun Sidan dan (b) Tenun Ikat (Koleksi Myra Widiono, 2019)

Beliau menjelaskan kain tenun Dayak Iban umumnya tersusun atas beberapa motif yang masing-masing memiliki makna. Kombinasi dari motif-motif tersebutlah yang menjadi komponen dari ‘cerita kain’ tersebut. Menurut beliau, tiap kain tenun suku Dayak Iban umumnya memiliki cerita kain masing-masing sesuai dengan kehidupan pribadi dari si penenun namun cerita kain ini pun bersifat abstrak. Hal ini berkaitan dengan keberadaan beberapa pantangan dalam menenun kain pada suku Ibat contohnya terdapat motif yang hanya boleh dibuat oleh wanita yang sudah menikah atau motif yang hanya dapat dibuat oleh penenun lama saja.

Banyaknya aturan dan ritual dalam menenun ini mengakibatkan jumlah penenun Dayak Iban tidak bertambah banyak. Secara tradisional, kain tenun suku Dayak Iban dibuat menggunakan pewarna alami. Namun karena menurunnya jumlah penenun dan keinginan pasar, maka para penenun suku Dayak Iban sempat menggunakan pewarna sintetis untuk membuat kain tenun mereka. Penggunaan pewarna alami pada tenun Dayak Iban berhasil dilakukan kembali dengan bantuan tim Warlami—Perkumpulan Warna Alam Indonesia yang dipimpin oleh bu Myra Widiono pada tahun 2014. Pewarna alam yang berhasil digunakan kembali oleh penenun Iban antara lain akar mengkudu, daun engkerebai (Gambar 2), dan daun indigo (dalam Bahasa Iban disebut dengan *rengat padi* dan *rengat akar*).



Gambar 2. Daun Engkerebai⁵

Masyarakat suku Dayak Iban umumnya hanya menenun pada waktu senggang saja. Secara tradisional, kain tenun yang dibuat oleh penenun suku Dayak hanya digunakan pada ritual adat tertentu dan kehidupan sehari-hari saja. Namun pada saat ini penenun suku Dayak sudah mulai menjual hasil tenunnya ataupun menerima pesanan kain tenun sesuai keinginan konsumen. Kain tenun yang dijual biasanya hanya memiliki motif-motif sederhana yang tidak memiliki nilai sakral. Walaupun terkadang ada beberapa keluarga yang menjual kain-kain kuno milik keluarganya karena kesulitan ekonomi.

Survei lapangan penelitian ini dilakukan di dusun Kelayam Nguji, Desa Manua Sadap, Kecamatan Embaloh Hulu, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat. Tujuan survei lapangan dilakukan untuk mengetahui kebudayaan, gaya hidup saat ini dan kondisi alam di sekitar lingkungan tempat tinggal suku Dayak Iban yang menjadi objek inspirasi motif pada penelitian ini. Survei ini dipandu oleh salah satu penenun muda suku Dayak Iban yang berasal dari dusun Kelayam dan juga menjadi narasumber, yakni Margaretha Bermas atau yang akrab dipanggil Kak Aya.

Diskusi melalui media daring dilakukan bersama Kak Aya sebelum melakukan survei lapangan. Data yang diperoleh dari diskusi tersebut antara lain motif-motif tua kain tenun Iban yang ada di dusun Kelayam, pewarna alam yang tersedia di sekitar dusun Kelayam, larangan atau aturan dalam menenun, jenis kain tenun Iban dan sebagainya.

Bahan pewarna alami yang tersedia di sekitar dusun Kelayam Nguji antara lain daun engkerebai atau daun babai, daun rengat padi atau daun indigo, daun tengkawang, buah pinang, kunyit, dan sebagainya.



(Dokumentasi Pribadi: Husna, 2020)

Gambar 3. Katalog Benang Hasil Celup Pewarna Alam di Dusun Kelayam

Menurut Margaretha Bermas, proses produksi kain tenun Iban paling cepat sekitar satu bulan hingga berbulan-bulan tergantung dari jenis dan ukuran kain yang diproduksi. Standar ukuran kain yang dapat diproduksi pengrajin suku Iban bergantung pada ukuran alat tenun yang tersedia, yakni lebar minimal berkisar antara dua sampai tinggal sentimeter dan maksimal 60-70 cm dengan panjang yang bervariasi.

Survei lapangan dimulai dengan mengamati kondisi sekitar rumah betang di Dusun Kelayam dan mencari informasi mengenai segala hal yang berhubungan dengan suku Dayak Iban di dusun tersebut (Gambar 4).



Gambar 4. Kondisi di sekitar Dusun Kelayam, (a) Menjemur Padi, (b) Tangga Tradisional, (c) Rumah Panjang Dusun Kelayam (Dokumentasi Pribadi: Husna, 2020)

Setelah melakukan observasi, langkah selanjutnya adalah berdiskusi dengan penenun aktif di dusun Kelayam mengenai eksplorasi motif yang sudah dibuat sebelumnya. Respon yang diberikan oleh mereka sangat positif, walaupun ada beberapa motif yang ternyata sulit dan bahkan tidak bisa dibuat dengan teknik ikat. Motif-motif yang dapat dibuat serta disukai oleh para penenun adalah motif modifikasi dari motif lama dan motif yang bentuknya hampir menyerupai bentuk motif yang sudah ada. Selain berdiskusi tentang motif, para penenun menunjukkan alat tenun yang digunakan di dusun Kelayam dan menjelaskan tahapan proses pembuatan tenun Dayak Iban.

Alat tenun yang digunakan oleh penenun Dayak Iban disebut dengan *Tangga' Ubung*. Bentuk dan mekanisme alat ini sama seperti alat tenun gedogan yang digunakan oleh pengrajin di pulau Jawa. Tahapan pertama dalam menenun adalah menggulung benang hingga menyerupai bentuk bola atau yang dalam Bahasa Iban disebut dengan *Nabo' Ubung*. Selanjutnya adalah pemasangan benang pada alat tenun. Benang diletakkan secara vertikal pada alat tenun (benang lusi) dan dilakukan menyilangi kayu penahan yang berada di atas dan di bawah. Benang harus melalui empat buah lidi yang berada pada bagian bawah alat untuk menghasilkan silangan benang. Tahapan selanjutnya adalah pembuatan 'sisir' pada benang lusi dengan menggunakan kayu *Beliak*—kayu pipih dengan ujung lancip yang digunakan untuk memilah helaian benang. Proses ini dilakukan dengan mengelompokkan benang berjumlah tiga helai dan kelipatannya. Aturan ini disebut dengan *Siko* yang bertujuan untuk mempermudah hitungan pada proses ikat (Gambar 5).



(Dokumentasi Pribadi: Husna, 2020)

Gambar 5. Proses Penghitungan Benang Berdasarkan *Siko*

Benang yang telah siap kemudian dipindahkan pada alat ikat yang bentuknya mirip seperti alat tenun, namun tidak memiliki kemiringan dan cenderung mirip seperti meja. Kemudian benang diikat sesuai dengan motif yang diinginkan berdasarkan penghitungan *siko* yang telah dibuat. Tahapan selanjutnya adalah proses pencelupan. Proses ini dapat memakan waktu berhari-hari hingga beberapa bulan tergantung dari warna yang diinginkan. Setelah proses ini selesai, tahapan terakhir adalah proses menenun benang pakan—benang tenun yang arahnya horizontal.

Jenis Kain Tenun Dayak Iban

Jenis kain tenun Iban berdasarkan tekniknya terbagi ke dalam 4 jenis, yakni tenun Sidan, tenun Ikat, tenun Sungkit, dan tenun Pileh. Tenun Sidan adalah tenun Dayak Iban yang menggunakan teknik songket dengan menggunakan pakan tambahan pada pembuatannya. Ciri khas tenun ini adalah tekstur benang yang timbul pada bagian motifnya. Menurut Myra Widiono, tenun ini merupakan tenun yang paling mudah dan paling cepat dibuat di antara tenun Iban Lainnya.

Tenun Ikat Iban adalah tenun yang motifnya dibuat dengan cara mengikat benang dengan tujuan menghalangi pewarna masuk ke benang yang sudah ditandai. Tenun Ikat Iban yang paling dikenal masyarakat adalah tenun Ikat Sintang.

Tenun Sungkit merupakan tenun yang dibuat dengan menyulam satu persatu keompok helaian benang kain tenun yang sudah dibuat. Proses pengerjaan tenun ini termasuk yang paling lama (Bermas, 2020).

Tenun Pileh merupakan teknik tenun Iban tersulit. Hanya tetua yang sudah mahir saja yang sanggup membuat tenun ini. Proses pembuatan tenun ini hampir mirip seperti tenun Sidan, perbedaannya terletak pada jumlah variasi motif yang ada pada kain tenun (Bermas, 2020).

Jenis tenun Iban berdasarkan ukurannya dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis, yakni tenun Kebat dan tenun Pua. Tenun Kebat merupakan kain tenun berukuran kecil sekitar 60-100 cm yang umumnya dipakai sebagai pakaian untuk bagian bawah tubuh. Sedangkan tenun pua atau disebut juga tenun kumbu merupakan tenun berukuran besar yang umumnya dua kali lipat dari ukuran tenun kebat. Tenun ini merupakan kain yang dianggap sakral karena biasanya proses pembuatannya melibatkan ritual adat tertentu (Widiono, 2019).

Tinjauan Motif Tenun Iban

Tenun Dayak Iban memiliki berbagai macam motif dengan makna yang beragam. Suku Dayak Iban cenderung membuat motif berdasarkan hal-hal penting di sekitar lingkungan mereka, contohnya seperti sesuatu yang berhubungan dengan sandang ataupun papan. Tabel 1 berikut merupakan tinjauan beberapa motif tenun Dayak Iban yang sering ditemui dalam kain tenun Iban.

Tabel 1. Tinjauan Motif Tenun Iban (Husna, 2020)

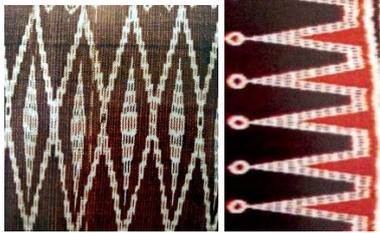
No.	Motif Tenun Iban	Keterangan
1.	 <p style="text-align: center;">Motif Encerbung¹</p>	Motif ini dibuat berdasarkan bentuk pucuk rebung atau tunas bambu muda yang mengerucut seperti segitiga.
2.	 <p style="text-align: center;">Motif Sampan¹</p>	Motif ini dibuat berdasarkan bentuk sampan atau perahu yang menjadi alat transportasi utama suku Iban pada zaman dulu.

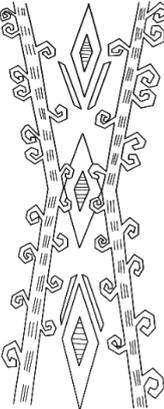
No.	Motif Tenun Iban	Keterangan
3.	 <p data-bbox="443 689 662 712">Motif Tisik Langit¹</p>	<p data-bbox="890 248 1378 376">Motif ini menggambarkan bentuk awan di langit yang cerah. Umumnya motif ini digambarkan sejajar dengan lengkungan yang menggambarkan awan.</p>

Eksplorasi Motif Tenun Iban

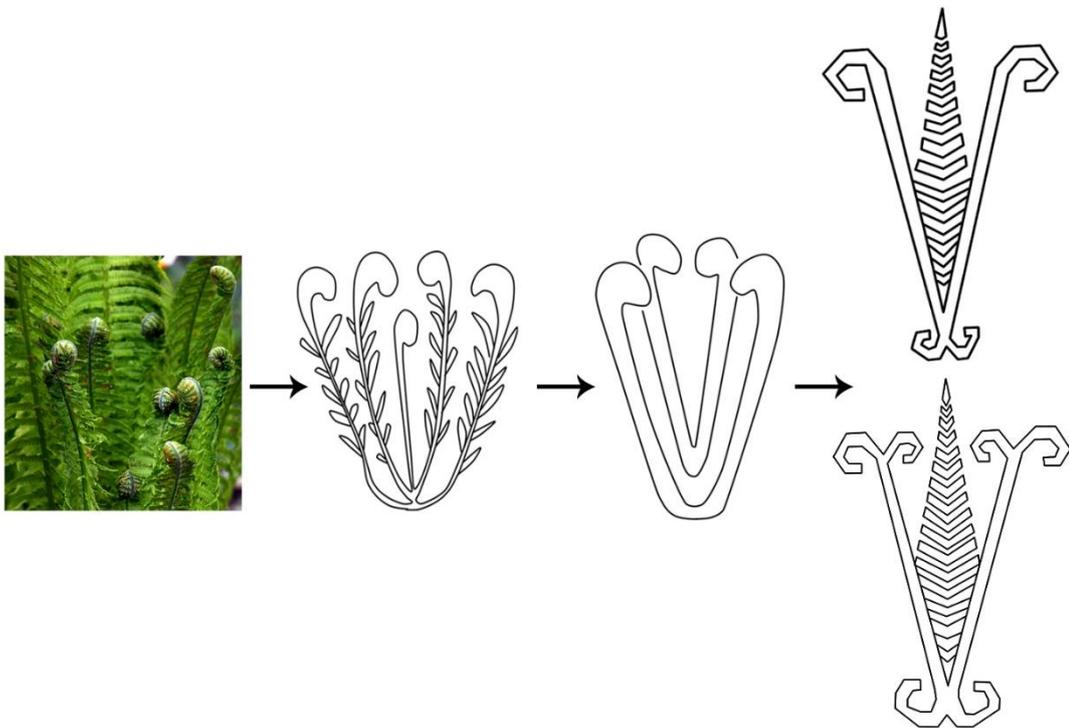
Eksplorasi visual pada penelitian ini dibagi ke dalam dua tahap, yakni eksplorasi tahap pertama dan tahap kedua. Eksplorasi tahap pertama dibuat dengan melakukan modifikasi motif tenun iban yang telah ditinjau (Tabel 2).

Tabel 2. Eksplorasi Motif Tenun Iban Tahap Pertama (Husna, 2020)

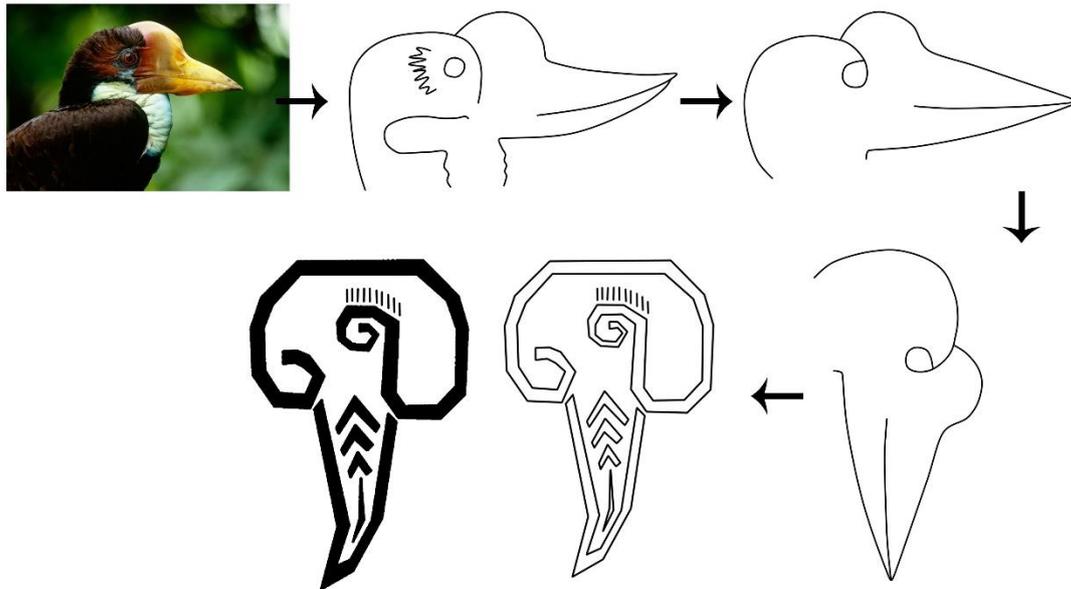
No.	Motif	Inspirasi
1.		 <p data-bbox="866 1285 1217 1317">Motif Sampan dan Encerebung</p>
2.		 <p data-bbox="866 1733 1217 1765">Motif Sampan dan Encerebung</p>

No.	Motif	Inspirasi
3.		 Motif Iban Tisik Langit dan Sampan

Eksplorasi tahap kedua dilakukan dengan memahami pola pikir suku Iban dalam membuat bentuk motif yang geometris pada tenunan dengan inspirasi flora dan fauna yang erat kaitannya dengan tempat tinggal suku Dayak Iban di Kapuas Hulu, Kalimantan Barat. Pada tahapan ini, eksplorasi visual dimulai dari stilasi bentuk asli inspirasi hingga beberapa tahap. Gambar 6 dan 7 berikut menunjukkan tahapan stilasi eksplorasi motif tenun Iban.



Gambar 6. Proses Stilasi Motif Pakis (Husna, 2020)



Gambar 7. Proses Stilasi Motif Rangkong (Husna, 2020)

KESIMPULAN

Tenun Ikat yang sudah menjadi tradisi turun menurun suku Dayak Iban semestinya dipelihara agar eksistensinya tidak pudar oleh waktu. Upaya pemeliharaan tenun Dayak Iban dapat berupa dokumentasi tenun dan motif Dayak Iban yang sudah ada, penggabungan teknik tenun dan khususnya kebaruan motif tenun Dayak Iban. Kebaruan motif pada penelitian ini dilakukan dengan dua metode, yakni modifikasi motif yang sudah ada dan eksplorasi visual baru berdasarkan pola pikir suku Dayak Iban dengan kehidupan sehari-hari suku Iban dan inspirasi kondisi alam disekitar tempat tinggalnya. Kebaruan yang dilakukan tetap mempertahankan karakteristik motif Iban dengan memperhatikan teknik penghitungan motif, meresapi pola pikir suku Iban, dan memperhatikan kehidupan sehari-hari suku Iban saat ini agar kearifan lokalnya tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dewan Kerajinan Nasional. 2014. Tenun Ikat Dayak Desa—Cerita dan Motif Kain. Kalimantan Barat: DEKRANAS
2. Hidayati, Awanis. 2014. Ritual Tenun Ikat Pua Kumbu dalam Budaya Wanita Iban. Bandung. <https://media.neliti.com/media/publications/266964-ritual-tenun-ikat-pua-kumbu-dalam-budaya-104f88e9.pdf> Diakses pada 19 November 2019.
3. Gillow, John. 1992. Traditional Indonesian Textiles. London: Thames and Hudson Ltd.
4. Joshua Project. 2019. Sea Dayak, Iban in Indonesia. https://joshuaproject.net/people_groups/12167/ID Diakses pada 5 Desember 2019.
5. Kartini, Dayang Eva dan Lolyta Sisillia. 2017. Jenis Tumbuhan Pewarna Alam yang Dimanfaatkan oleh Masyarakat Penenun Desa Batu Lintang Kecamatan Embaloh Hulu Kabupaten Kapuas Hulu. Pontianak. <https://docplayer.info/79814941-Jenis-tumbuhan-pewarna-alam-yang-dimanfaatkan-oleh-masyarakat-penenun-des-batu-lintang-kecamatan-embaloh-hulu-kabupaten-kapuas-hulu.html> Diakses pada 24 Oktober 2020.

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR *FANCY TWILL* UNTUK PENINGKATAN SIFAT *LIQUID MOISTURE MANAGEMENT* *TRANSPORT* PADA KAIN TENUN POLIESTER

MODIFICATION OF *FANCY TWILL* STRUCTURE DESIGN TO IMPROVE *LIQUID MOISTURE MANAGEMENT TRANSPORT PROPERTIES* ON *POLYESTER WOVEN FABRIC*

Yusniar Siregar, Arif Wibi Sana, Dermawati Suantara, M. Danny Sukardan, Siti Robi'ah Adawiyah

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
E-mail: yusniar@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Kain tenun poliester merupakan kain yang banyak digunakan sebagai bahan pakaian seragam atau setelan (*suiting*). Untuk meningkatkan kenyamanan (*comfort*) dari pakaian yang dibuat dengan kain tersebut, diperlukan sifat *moisture management* yang optimal sehingga keringat yang dihasilkan oleh tubuh cepat diserap dan ditransmisikan ke luar pakaian serta cepat kering. Pada penelitian ini, kain tenun poliester dibuat dengan memvariasikan beberapa desain struktur anyaman, yaitu anyaman *twill 2/2* dan variasi *fancy twill* dengan menggunakan mesin tenun *Rapier Jet Loom*. Hasil percobaan dievaluasi melalui uji sifat fisik kain dan *moisture management*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kain poliester dengan anyaman *fancy twill 2* memiliki nilai *Air Permeability* yang paling tinggi dibandingkan anyaman *twill 2/2* dan *fancy twill* lainnya, yaitu sebesar 36,3 cm³/cm²/s. Kain yang dibuat dengan menggunakan desain struktur anyaman *fancy twill 4* memiliki nilai *absorption rate*, *max wetted radius*, *spreading speed*, *one-way transport capacity*, dan *overall moisture management capability (OMMC)* yang paling tinggi dibandingkan anyaman lain.

Kata kunci : kain tenun, poliester, *fancy twill*, *moisture management*

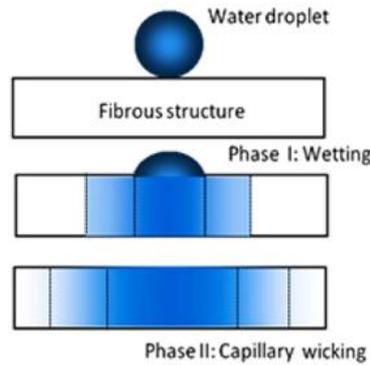
ABSTRACT

Polyester woven fabrics are widely used for uniforms or suiting. To increase the comfort of clothes made from these fabrics, optimal moisture management is needed so that the sweat produced by the body is quickly absorbed and transmitted outside the clothes and dries quickly. In this research, polyester woven fabric was made by several weave structure designs, namely twill 2/2 and fancy twill variations using the Rapier Jet Loom weaving machine. The experimental results were evaluated through the physical properties of the fabric and moisture management. The results showed that the polyester fabric with fancy twill 2 structure had the highest Air Permeability value compared to twill 2/2 and other fancy twills structure, which was 36.3 cm³/cm²/s. Fabrics made using the fancy twill 4 structure design have the highest absorption rate, max wetted radius, spreading speed, one-way transport capacity, and overall moisture management capability (OMMC) compared to other woven structures.

Keyword : woven fabric, polyester, *fancy twill*, *moisture management*

PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, dengan meningkatnya standar hidup, kebutuhan, dan ekspektasi masyarakat terhadap pakaian dan produk tekstil menjadi berbeda. Pakaian tidak hanya berfungsi sebagai pelindung tubuh dari lingkungan eksternal, namun memiliki peran penting pula dalam menjaga tubuh tetap nyaman selama beraktivitas, contohnya seperti saat berkeringat.^{1,2,3} Kenyamanan suatu pakaian dapat dikategorikan menjadi kenyamanan sensorik, psikologis, dan termofisiologis.⁴ Kenyamanan termofisiologis ditentukan oleh permeabilitas udara (*air permeability*), *moisture management*, dan sifat termoregulasi pada pakaian.⁵ Adapun permeabilitas udara dari kain tenun dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran pori yang terkait dengan parameter struktural dari kain tenun serta bahan kimia yang digunakan selama proses pembuatan kain.^{6,7,8} Parameter struktural tersebut antara lain adalah konstruksi kain, kehalusan benang lusi dan pakan, tetal, serta desain struktur anyaman.^{9,10,11}



Gambar 1. Proses *Liquid transport*¹²

Agar diperoleh kenyamanan pakaian secara termofisiologis, pakaian harus memiliki daya transmisi uap air dan cairan yang baik.^{12,13} Aliran cairan dalam kumpulan serat pada benang atau kain terjadi karena adanya gaya kapiler seperti pada Gambar 1. Apabila serat bersentuhan dengan air maka permukaan serat menjadi basah dan setelah itu air dapat diangkat melalui celah antara serat ke daerah terbuka. Menurut literatur, pembasahan (*wettability*) suatu kain ditentukan oleh struktur dan topografi permukaan, serta disposisi pori kain.¹⁴ Permukaan kain yang kasar biasanya memiliki sifat terbasahi yang lebih baik daripada permukaan yang halus. Mekanisme pembasahan, *wicking* dan tingkat pengeringan (*drying rate*) pada kain merupakan parameter dalam *moisture management* yang turut berpengaruh dalam memberi kenyamanan.

Kain tenun poliester dan campurannya merupakan kain yang banyak digunakan sebagai bahan pakaian seragam atau setelan (*suiting*). Poliester memiliki kelebihan antara lain tidak mudah kusut, tahan lama, mudah kering pada saat dijemur, lebih tahan terhadap bakteri, tidak mudah menyusut serta memiliki karakteristik yang baik dalam hal kekuatan dan kelangkaan.¹⁵ Kelemahan poliester dibanding serat alam (misalnya kapas) adalah dalam hal *moisture regain*nya yang rendah sehingga daya serapnya terhadap keringat kurang baik. Kelemahan tersebut dapat mempengaruhi kenyamanan bahan pada saat dipakai. Untuk meningkatkan kenyamanan (*comfort*) dari pakaian yang dibuat dengan kain tersebut, diperlukan sifat *moisture management* yang optimal. Usaha yang dapat dilakukan diantaranya adalah dengan melakukan modifikasi struktur permukaan pada kain tenun poliester melalui penerapan desain anyaman yang memungkinkan terjadinya perpindahan keringat dari permukaan kulit ke luar kain dengan cepat. Beberapa jenis anyaman *fancy twill* memiliki variasi *floating* yang banyak dan beragam sehingga porositas kain yang dihasilkan lebih tinggi. Sifat tersebut akan membantu dalam proses transmisi keringat ke luar pakaian sehingga bahan yang digunakan lebih nyaman saat dipakai. Anyaman *fancy twill* adalah salah satu turunan dari anyaman *twill* yang merupakan gabungan dari anyaman *twill* lusi dan *twill* pakan dengan *floating* yang ditambah atau dikurangi secara bervariasi. Anyaman *fancy twill* ini umumnya menampilkan motif kecil pada permukaan kain, atau berupa motif yang berbaris miring ke arah kanan, kiri, atau kedua arah.¹⁶

Menurut literatur, anyaman *twill* menghasilkan insulasi termal yang lebih baik karena lebih tebal dibandingkan dengan anyaman polos. Loncatan pada anyaman (*weave float*) memegang peranan penting dalam hal permeabilitas udara. Semakin banyak *floating*, maka permeabilitas udara semakin besar.^{17,18} Penelitian mengenai *moisture management* pada kain poliester sudah pernah dilakukan peneliti lain pada anyaman *plain*, *twill* dasar (*basic twill*), maupun satin. Namun penelitian yang secara khusus membahas tentang *moisture management* kain tenun polyester pada anyaman turunan *twill* khususnya *fancy twill* belum banyak dilakukan.

METODE

Bahan dan Peralatan

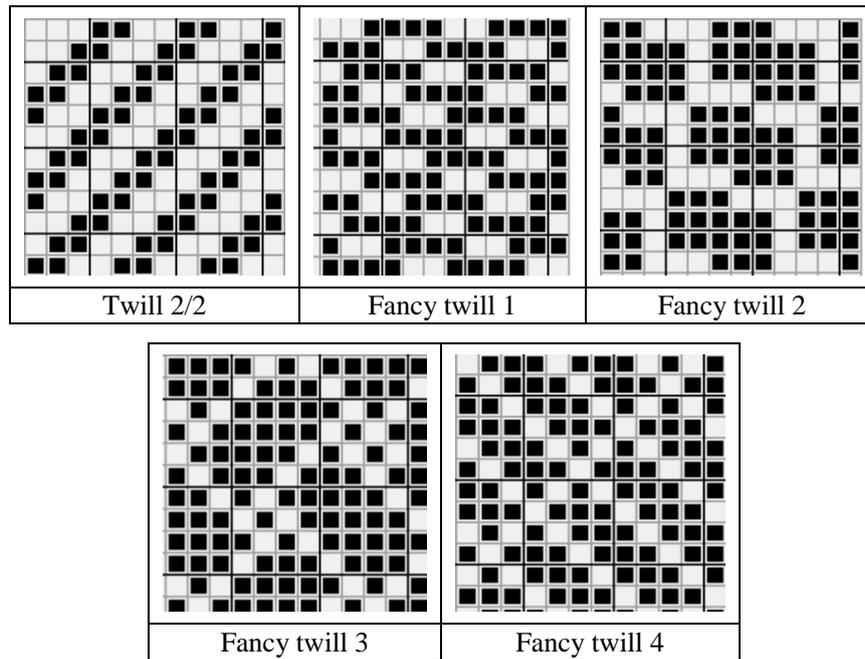
Bahan yang digunakan adalah benang poliester 150 denier sebagai benang lusi dan benang poliester 300 denier sebagai benang pakan. Alat yang digunakan adalah Mesin Tenun Rapiet Jet Loom, dan *Moisture Management Tester* Merk SDL Atlas.

Metode Penelitian

Percobaan dilakukan menggunakan Mesin Tenun Rapiet dengan 5 variasi anyaman, yaitu *twill* 2/2 dan 4 variasi *fancy twill* sebagaimana pada Gambar 2.

Proses *dyeing finishing* pada semua kain tersebut dilakukan pada kondisi yang sama dengan memproses semua contoh uji pada lot yang sama. Kemudian semua contoh uji dikondisikan pada kondisi atmosfer standar sebelum diuji. Pengujian fisik kain meliputi lebar kain, berat kain, tetal kain, tebal kain, dan daya tembus udara

(*Air Permeability*). Pengujian performa kain menggunakan standar AATCC TM 195 - 2012, *Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics*.

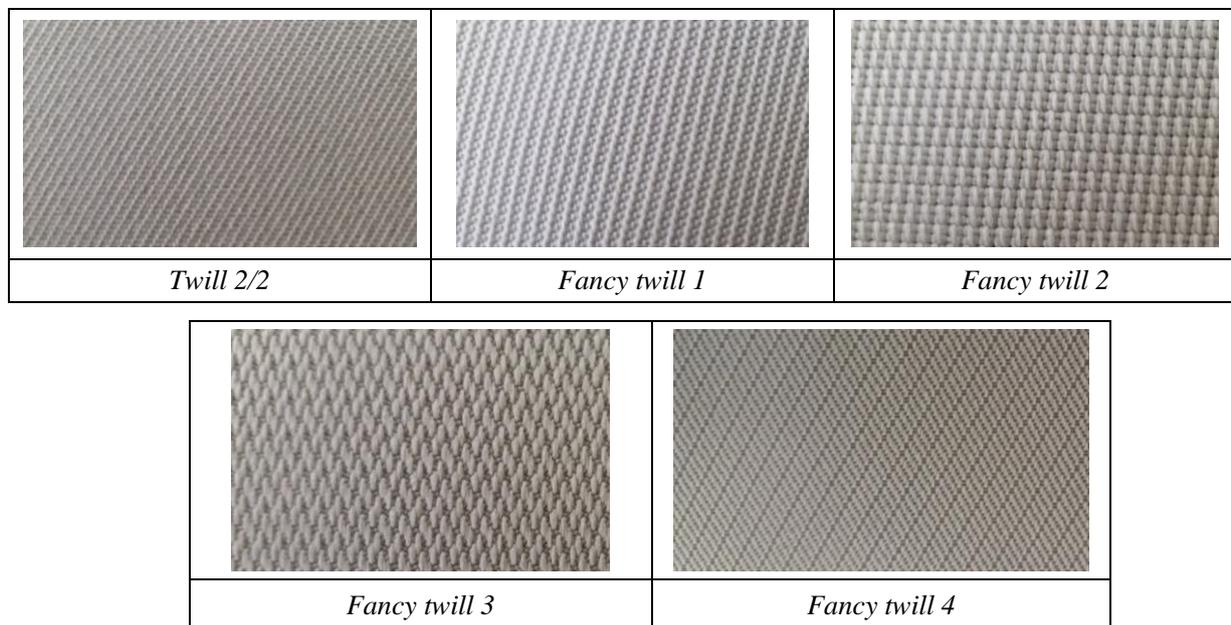


Gambar 2. Variasi

Desain anyaman

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lima jenis kain tenun poliester dibuat dengan variasi desain anyaman yang berbeda sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Variasi pertama berfungsi sebagai pembanding, yaitu kain poliester yang dibuat dengan menggunakan desain *twill 2/2* yang umum ditemui sebagai bahan kain seragam atau setelan (*suiting*).



Gambar 3. Kain tenun hasil percobaan

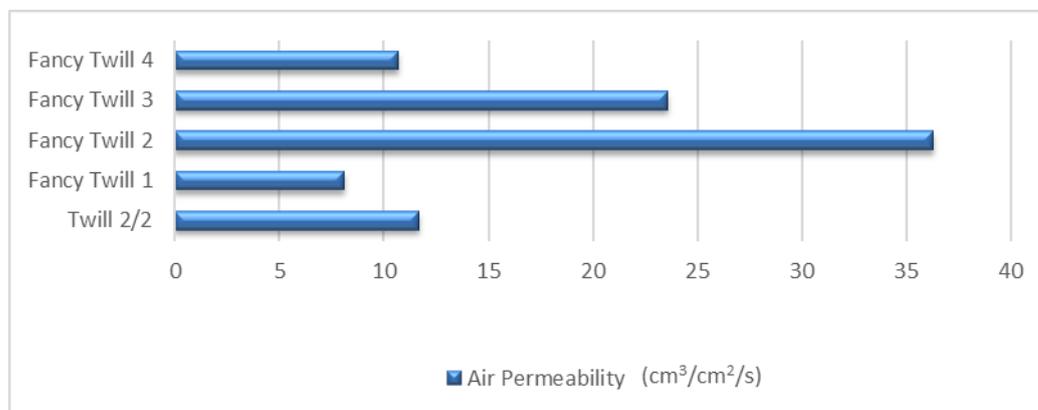
Berdasarkan hasil pengujian lebar kain, berat kain, dan tetal kain yang tersaji dalam Tabel 1, diperoleh informasi bahwa data lebar dan berat kain untuk semua jenis variasi kain tidak jauh berbeda, begitu pula dengan tetal dan tebal kain. Hal ini disebabkan pada proses pembuatan kain, pengaturan parameter mesin dibuat sedemikian rupa agar hampir sama sehingga pada saat dibandingkan satu sama lain, pengaruh struktur anyaman akan mudah terlihat.

Selain dari jenis uji tersebut, pada Gambar 4 juga ditampilkan hasil uji *air permeability* (AP). Data hasil uji tersebut menunjukkan bahwa kain poliester dengan anyaman *fancy twill 2* memiliki nilai AP yang paling tinggi (36,3 cm³/cm²/s) sedangkan kain poliester dengan anyaman *fancy twill 1* memiliki nilai AP yang paling rendah (8,1 cm³/cm²/s). Hal ini disebabkan poliester dengan anyaman *fancy twill 2* memiliki struktur dengan *floating* yang panjang baik untuk benang lusi (3 lompatan) maupun pakan (3 ~ 4 lompatan). Lompatan yang lebih panjang menghasilkan jumlah silangan (*interlacement*) per satuan luas kain tenun yang lebih sedikit. Apabila jumlah silangan lebih sedikit akibatnya adalah kain menjadi kurang kompak dan ruang antara benang menjadi lebih banyak, sehingga memungkinkan udara untuk masuk melewati celah-celah antar benang dengan mudah. Lompatan yang panjang dan berturut-turut seperti pada anyaman *fancy twill 2* juga dapat menyebabkan benang berpindah dari posisi semula saat diberikan tekanan udara tertentu, sehingga menghasilkan lebih banyak aliran udara yang masuk ke kain dan nilai AP yang lebih tinggi.¹⁹ Selain itu terdapat 2 helai benang pakan dengan pola yang sama setiap unit motif.

Tabel 1. Data hasil pengujian kain dengan variasi anyaman *twill*

No	Jenis Anyaman	Lebar Kain (cm)	Berat Kain (g/m ²)	Tetal Lusi (hl/cm)	Tetal Pakan (hl/cm)	Tebal Kain (mm)
1	<i>Twill 2/2</i>	150	214	50,5	28,5	0,48
2	<i>Fancy twill 1</i>	150	214	52	28	0,50
3	<i>Fancy twill 2</i>	148	214	51,5	28	0,76
4	<i>Fancy twill 3</i>	148	216	51,5	28	0,66
5	<i>Fancy twill 4</i>	151	218	50,5	29	0,53

Sementara anyaman *fancy twill 1* memiliki struktur dengan *floating* yang lebih pendek untuk benang pakan (2 lompatan). Walaupun terdapat *floating* yang panjang pada benang lusi, namun pada satu *repeat* anyaman tidak konsisten, berturut-turut berubah dari 4 lompatan menjadi 2 lompatan kemudian menjadi 1 lompatan, sehingga menghasilkan ruang antar benang lebih sedikit dibandingkan dengan anyaman lainnya. Nilai AP pada kain *twill 2/2* dan anyaman *fancy twill 4* memiliki nilai AP yang hampir sama, berturut-turut nilainya sebesar 11,7 cm³/cm²/s dan 10,7 cm³/cm²/s. Kain poliester dengan desain anyaman *fancy twill 3* memiliki nilai AP yang cukup tinggi (23,6 cm³/cm²/s), lebih tinggi daripada desain *twill 2/2*, anyaman *fancy twill 1* dan *fancy twill 3*, namun masih dibawah desain anyaman *fancy twill 2*.

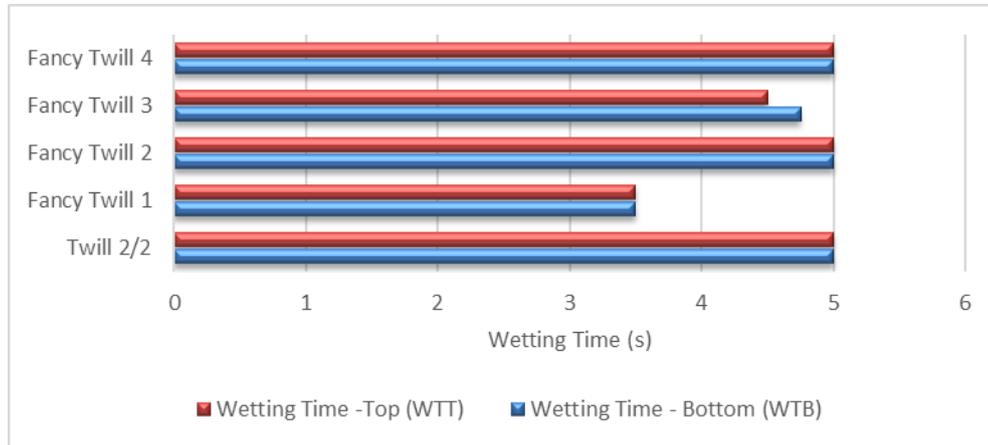


Gambar 4. Hasil uji *air permeability* kain polyester dengan variasi anyaman *twill*

Menurut literatur, permeabilitas udara (AP) dari kain tenun tergantung pada bentuk dan ukuran pori yang terkait dengan parameter struktural dari kain tenun sehingga bentuk desain anyaman akan berkorelasi dengan nilai AP yang dihasilkan.⁶ Permeabilitas udara merupakan salah satu parameter yang menentukan kenyamanan termofisiologis sehingga nilainya bisa dijadikan salah satu acuan dalam membuat kain *suiting* (setelan/seragam) yang nyaman.⁵

Kain hasil percobaan diuji pula dengan *moisture management tester* (MMT). Pengujian *moisture management* menghasilkan beberapa parameter data, meliputi waktu pembasahan (*wetting time*), kecepatan penyerapan (*absorption rate*), jarak maksimum terbasahi (*maximum wetted radius*), kecepatan penyebaran (*spreading speed*), kemampuan perpindahan satu-arah (*one-way transport capability*), dan kemampuan pengaturan cairan keseluruhan (*overall moisture management capability*).

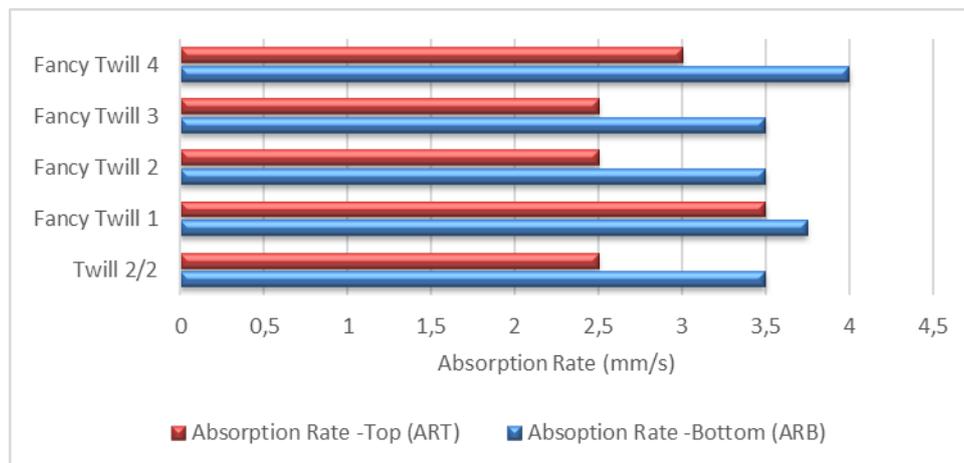
Menurut AATCC TM 195, *wetting time* (*WT*) didefinisikan sebagai waktu (dalam satuan detik) ketika bagian permukaan atas (*top*) dan bawah (*bottom*) spesimen mulai terbasahi sesaat setelah uji dimulai. Sedangkan *absorption rate* (*AR*) didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata penyerapan cairan untuk permukaan atas dan bawah spesimen ketika terjadi perubahan kandungan air selama pengujian. Hasil pengujian pada Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai *WT-Top* (WT_T) dan *WT-Bottom* (WT_B) paling tinggi diperoleh pada kain dengan desain anyaman *twill 2/2*, *fancy twill 2* dan 4 dengan waktu 5 s. Nilai *WT* paling rendah diperoleh pada kain dengan desain anyaman *fancy twill 1* dengan nilai 3,5 s dan *fancy twill 3* dengan nilai 4,75 s.



Gambar 5. Nilai indeks *wetting time* kain poliester dengan variasi anyaman *fancy twill*

Kain dengan desain anyaman *fancy twill 1* dan 3 memiliki waktu pembasahan (*WT*) yang lebih rendah dibandingkan dengan desain anyaman lainnya. Pada anyaman *fancy twill 1* dan 3 terdapat panjang lompatan benang lusi tertinggi, yaitu 4-5 lompatan dalam 1 silangan dengan benang pakan, jadi terdapat 4-5 helai benang pakan melewati satu helai benang lusi dalam satu silangan, yang menghasilkan peningkatan bidang kontak benang pakan di permukaan kain. Saat cairan mulai bergerak ke kain, dengan adanya kontak yang tinggi pada area tersebut maka cairan akan dengan mudah diserap oleh kain. Oleh karena itulah waktu pembasahan menjadi lebih cepat. Sedangkan pada desain anyaman *twill 2/2*, *fancy twill 2*, dan 4, lompatan benang lebih sedikit, sehingga titik silangan dengan benang pakan semakin banyak dan akan memerlukan waktu pembasahan yang lebih lama pada kain.

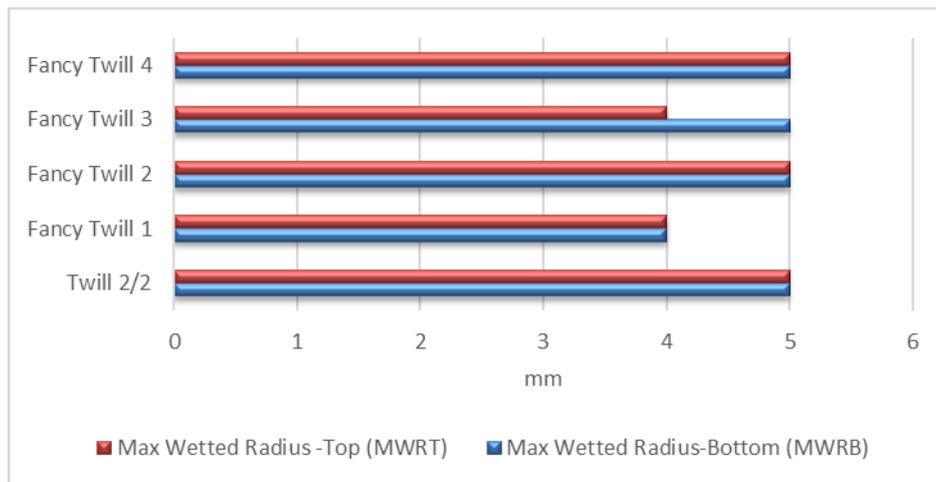
Nilai AR_T paling tinggi diperoleh pada kain dengan desain anyaman *fancy twill 1* dengan nilai 3,5 mm/s dan AR_B paling tinggi pada *fancy twill 4* dengan nilai 4 mm/s, sedangkan nilai AR_T dan AR_B paling rendah diperoleh pada kain dengan desain anyaman *twill 2/2*, *fancy twill 2*, dan 3 dengan nilai *top* dan *bottom* masing-masing sebesar 2,5 mm/s dan 3,5 mm/s.



Gambar 6. Nilai indeks *absorption rate* kain poliester dengan variasi anyaman *twill*

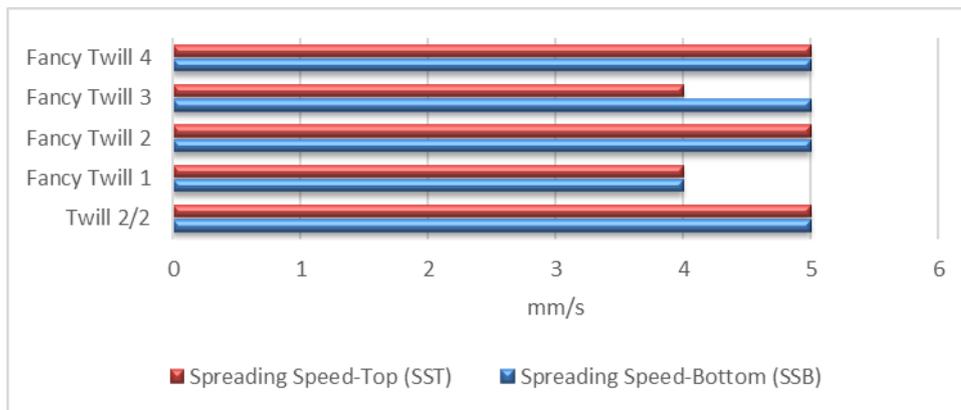
Menurut AATCC TM 195, *maximum wetted radius* (*MWR*) didefinisikan sebagai jarak lingkaran terbesar yang terukur pada bagian permukaan atas dan bawah spesimen. Hasil pengujian pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai MWR_T dan MWR_B paling tinggi diperoleh pada kain dengan desain anyaman *twill*

2/2, *fancy twill* 2 dan 4 dengan nilai masing-masing 5 mm, sedangkan nilai paling rendah ditunjukkan pada kain dengan desain anyaman *fancy twill* 1 dengan nilai 4 mm.



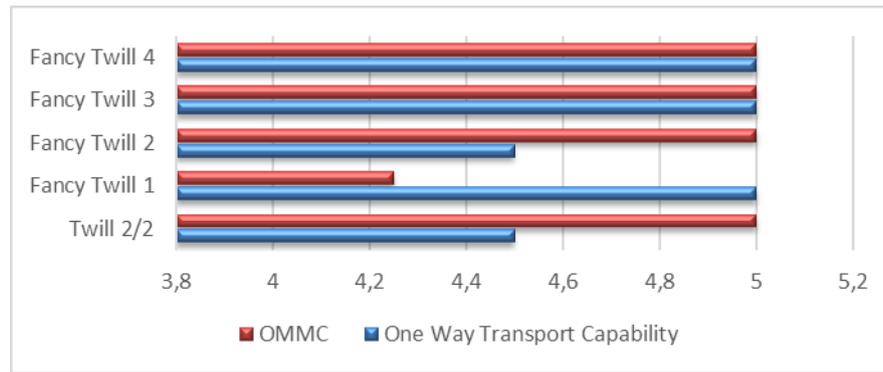
Gambar 7. Nilai indeks *maximum wetted radius* kain polyester dengan variasi anyaman *twill*

Spreading speed (*SS*) adalah kecepatan akumulasi pembasahan permukaan dari titik pusat sampel pada posisi cairan diteteskan hingga posisi *MWR*. Data pada Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai indeks SS_T dan SS_B tertinggi terdapat pada kain poliester dengan anyaman *twill* 2/2, *fancy twill* 2, dan 4 untuk bagian atas maupun bawah kain yaitu 5 mm/s, sedangkan paling lambat untuk bagian atas terdapat pada anyaman *fancy twill* 3, untuk bagian bawah pada anyaman *fancy twill* 1 dengan nilai masing-masing 4 mm/s. Hal ini sejalan dengan hasil uji waktu pembasahan (*wetting time*) pada Gambar 7.



Gambar 8. Nilai indeks *spreading speed* kain polyester dengan variasi anyaman *twill*

Menurut AATCC TM 195, *one-way transport capability* (*R*) didefinisikan sebagai perbedaan antara area kurva kandungan cairan (*liquid moisture content*) permukaan atas dan bawah spesimen terhadap waktu. Sedangkan *overall moisture management capability* (*OMMC*) didefinisikan sebagai indeks kemampuan kain secara keseluruhan dalam memindahkan cairan sebagai hasil dari perhitungan kombinasi dari 3 parameter, yaitu: AR_B , *R*, dan SS_B . Hasil pengujian pada Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai *R* paling tinggi diperoleh pada kain dengan desain anyaman *fancy twill* 1, 3 dan 4 dengan nilai masing-masing 5, sedangkan nilai paling rendah ditunjukkan pada kain dengan desain anyaman *twill* dan *fancy* 2, dengan nilai 4,5. Nilai *OMMC* paling tinggi diperoleh pada kain dengan desain anyaman *twill* 2/2, *fancy twill* 2, 3, dan 4 dengan nilai masing-masing 5, sedangkan nilai paling rendah ditunjukkan pada kain dengan desain anyaman *fancy twill* 1, dengan nilai 4,25.



Gambar 9. Nilai indeks *OMMC* dan *one-way transport capability* kain poliester dengan variasi anyaman *twill*

Berdasarkan hasil uji, kain dengan desain anyaman *twill fancy 4* memiliki nilai indeks *MMT* paling menonjol, dimana kain tersebut memiliki nilai paling tinggi dalam hasil uji *MMT* di semua parameter. Bila dianalisis berdasarkan struktur anyaman, terlihat bahwa hampir semua desain anyaman pada kain hasil percobaan strukturnya kurang rapat. Struktur anyaman yang terbuka dan memiliki banyak loncatan benang (*floats of yarns*) akan menghasilkan porositas dan sifat *wicking* yang lebih tinggi sehingga memudahkan dalam penyerapan dan penyebaran cairan. Struktur tersebut juga akan menghasilkan nilai konduktivitas termal yang tinggi, namun berbanding terbalik dengan nilai ketahanan termalnya yang lebih rendah bila dibandingkan dengan struktur anyaman yang lebih rapat seperti pada anyaman polos.²⁰

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kain poliester dengan anyaman *fancy twill 2* memiliki nilai *Air Permeability* yang paling tinggi dibandingkan anyaman *twill 2/2* dan *fancy twill* lainnya, yaitu sebesar 36,3 cm³/cm²/s. Kain yang dibuat dengan menggunakan desain struktur anyaman *fancy twill 4* memiliki nilai *wetting time*, *absorption rate*, *max wetted radius*, *spreading speed*, *one way transport capacity* dan *OMMC* yang paling tinggi dibandingkan kain *twill 2/2* dan variasi desain anyaman lain yang diaplikasikan pada penelitian ini. Permeabilitas udara dan sifat *moisture management* merupakan parameter yang menentukan kenyamanan termofisiologis kain, sehingga nilainya bisa dijadikan salah satu acuan dalam membuat kain *suiting* (setelan/seragam) yang nyaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PT. Trisula Textile Industry atas dukungannya dalam kegiatan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

1. Namligöz, E. S., Çoban, S. & BahtiyarI, M. I. Comparison of moisture transport properties of the various woven fabrics. *Tekst. ve Konfeksiyon* **20**, 93–100 (2010).
2. Asanovic, K. A., Cerovic, D. D., Mihailovic, T. V., Kostic, M. M. & Reljic, M. Quality of clothing fabrics in terms of their comfort properties. *Indian J. Fibre Text. Res.* **40**, 363–372 (2015).
3. Liu, C. & Bian, F. Application of Fabric in Uniform Design and Its Development Research. 1526–1532 (2015) doi:10.2991/icadme-15.2015.283.
4. Magdalena, H., Santoso, H., Sistem, J., Stmik, I. & Pangkalpinang, A. L. Strategi Mengenali Motif Khas Kain Tenun Cual Bangka Dengan AHP. *Informatics J.* **1**, (2016).
5. Frydrych, I., Dziworska, G. & Bilka, J. Comparative analysis of the thermal insulation properties of fabrics made of natural and man-made cellulose fibres. *Fibres Text. East. Eur.* **10**, 40–44 (2002).
6. Fatahi, I. & Alamdar Yazdi, A. Assessment of the relationship between air permeability of woven fabrics and its mechanical properties. *Fibres Text. East. Eur.* **83**, 68–71 (2010).
7. Saricam, C. & Kalaoglu, F. Investigation of the Wicking and Drying Behaviour of Polyester Woven Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern. Europe* **22**, 73–78 (2014).
8. A, M., F, S., D, D., H, G. & S, D. Influence of Textile Physical Properties and Thermo-Hydric Behaviour on Comfort. *J. Ergon.* **07**, (2017).
9. Hasan, M. M. B., Calvimontes, A., Synytska, A. & Dutschk, V. Effects of Topographic Structure on Wettability of Differently Woven Fabrics. *Text. Res. J.* **78**, 996–1003 (2008).
10. Iftikhar, F. *et al.* Investigation of Thermo-Physiological Comfort and Mechanical Properties of Fine Cotton Fabrics for Ladies' Summer Apparel. *J. Nat. Fibers* **0**, 1–11 (2019).
11. Ahmad, S. *et al.* Effect of weave structure on thermo-physiological properties of cotton fabrics. *Autex Res. J.* **15**, 30–34 (2015).

12. Azeem, M., Boughattas, A., Wiener, J. & Havelka, A. Mechanism of liquid water transport in fabrics; A review. *Vlakna a Text.* **24**, 58–65 (2017).
 13. Cui, Y., Li, D. & Bai, H. Bioinspired Smart Materials for Directional Liquid Transport. *Ind. Eng. Chem. Res.* **56**, 4887–4897 (2017).
 14. Sirková, B. K. & Moučková, E. Analysis Possibilities of Controlled Transport of Moisture in Woven Fabrics. *Autex Res. J.* 1–7 (2018) doi:10.1515/aut-2018-0008.
 15. Karaca, B., Demir, A., Özdoğan, E. & Işmal, Ö. Environmentally benign alternatives: Plasma and enzymes to improve moisture management properties of knitted PET fabrics. *Fibers Polym.* **11**, 1003–1009 (2010).
 16. Islam, T. Analysis the Physical Properties of Twill Derivatives: A Case Study. *J. Text. Sci. Fash. Technol.* **4**, 6–11 (2019).
 17. Raj, S. & Sreenivasan, S. Total wear comfort index as an objective parameter for characterization of overall wearability of cotton fabrics. *J. Eng. Fiber. Fabr.* **4**, 29–41 (2009).
 18. Maqsood, M. *et al.* Modelling the effect of weave structure and fabric thread density on mechanical and comfort properties of woven fabrics. *Autex Res. J.* **16**, 160–164 (2016).
 19. Umair, M. *et al.* Effect of woven fabric structure on the air permeability and moisture management properties. *J. Text. Inst.* **107**, 596–605 (2016).
 20. Lei, M. *et al.* Effect of weaving structures on the water wicking-Evaporating behavior of woven fabrics. *Polymers (Basel)*. **12**, (2020).
 21. AATCC TM195-2012. Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics, 366-70.
-

PENANGANAN CACAT GARIS PERAK PADA PROSES PEMBUATAN KOMPONEN TEPIAN SAMPING RANJANG RUMAH SAKIT BERBAHAN DASAR *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE* PADA INDUSTRI PLASTIK DI YOGYAKARTA

SOLVING SILVER STREAKS DEFECT TOWARDS HOSPITAL BED COMPONENT USING ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE AT PLASTIC INDUSTRY IN YOGYAKARTA

Zia Ulhaq, Diana Ross Arief

Politeknik ATK Yogyakarta
Jalan Prof. Dr. Wirdjono Prodjodikoro, Glugo, Panggunharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta 55188
Telp. +6281333016996
E-mail: ziaulhaq.aliwafa@gmail.com

ABSTRAK

Cacat garis perak terjadi karena tingkat kelembapan yang disebabkan oleh uap yang menempel pada permukaan material. Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana menyelesaikan cacat garis perak pada permukaan material. Untuk mengurangi jumlah produk dengan cacat garis perak ini, proses pembersihan silinder dapat dilakukan setelah proses produksi berlangsung. Selanjutnya dengan menggunakan pengatur suhu cetakan, suhu harus diatur agar tetap stabil. Hasil dari studi ini yaitu untuk menjaga kualitas produk yang lebih baik perlu dilakukan perawatan terjadwal pada mesin produksi, khususnya pada komponen silinder agar kondisi selalu bersih sehingga tidak menyebabkan cacat garis perak pada permukaan material.

Kata kunci: cetak injeksi, cacat garis perak, kelembapan

ABSTRACT

Silver streaks defects usually occur because of the humidity caused by attached vapor to the surface of the material. This final project aimed to find out how to solve the silver streaks defect. To reduce the number of products with silver streaks defects, cylinder cleaning could be done after production process. Furthermore, by using the mold temperature controller, the temperature should be set to remain stable. The result of this study is in order to maintain better product quality, maintenance schedule on the production machine should be arranged, especially for the cylinder component to keep it clean, so it does not cause silver line defects on the surface of the material.

Keywords: injection molding, silver streaks, humidity

PENDAHULUAN

Peralatan rumah sakit merupakan peralatan yang penting bagi operasional dan pelayanan rumah sakit. Material yang digunakan dalam produk peralatan rumah sakit antara lain merupakan logam dan plastik, namun seiring waktu bahan logam pada produk peralatan rumah sakit mulai digantikan oleh plastik sebagaimana Kumar dkk., (2011) yang menyatakan bahwa salah satu sifat plastik yaitu ringan dan tidak menghantarkan listrik.¹ Sebagian besar proses produksi peralatan rumah sakit menggunakan mesin cetak injeksi. Sedangkan menurut Yulianto dkk., (2014) penggunaan metode cetak injeksi juga tidak lepas dari cacat produk, salah satunya adalah cacat garis perak.² Menurut SNI 7276:2014 yang berkaitan dengan standar untuk tangki air silinder vertikal- Polietilena, produk plastik yang baik adalah yang tidak memiliki cacat fisik berupa tidak penuh, gosong, garis perak (*silver streaks*), *sink mark*, warna tidak sesuai, dan jenis cacat lain pada produk.³ Berdasarkan Putra (2014) yang dimaksud garis perak yaitu kondisi dimana terdapat semburat warna perak pada permukaan hasil injeksi.⁴ Menurut Ginting (2008) cacat garis perak banyak terjadi pada industri plastik dengan produk yang menggunakan material plastik dengan perlakuan *pre-heating* seperti poliamida dan ABS karena bersifat hidrofobik sehingga kelembapan sangat berpengaruh terhadap hasil akhir produk.⁵ Produk dengan cacat garis perak tidak dapat digunakan karena dari segi penampilan dan warna pada permukaan tidak memenuhi standar kualitas. Sehingga cacat garis perak perlu diminimalisir agar tidak menimbulkan banyak kerugian produksi. Kerugian akibat cacat garis perak disebabkan karena produk cacat akan didaur ulang

(dicacah) kemudian akan dicetak kembali. Plastik yang didaur ulang lebih dari tiga kali akan menimbulkan penurunan terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Dalam proses produksi, cacat produk harus diminimalisasi agar kualitas penjualan produk tidak menurun, produksi lebih efisien dan tidak menimbulkan banyak limbah produksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis untuk mencari cara penyelesaian cacat produk yang terjadi.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan komponen tepi samping ranjang rumah sakit:

1. ABS *Magnum A 136* (berwarna putih, berbentuk pellet)
2. Zat pewarna (berbentuk pelet, sebagai bahan pewarna bahan baku plastik)
3. Silicon (jernih, berbentuk aerosol, untuk membantu produk agar tidak lengket pada cetakan)

Peralatan

Peralatan dan mesin yang digunakan dalam proses pembuatan komponen tepi samping ranjang rumah sakit adalah sebagai berikut:

1. Mesin cetak injeksi, sebagai alat utama pembuatan plastik center panel dengan kapasitas 450T, dengan merk mesin Tian Jian. Mesin cetak injeksi berfungsi sebagai peleleh material pellet ABS yang kemudian diinjeksikan kedalam cetakan. Menurut Harper dan Petrie (2003) mesin cetak injeksi mempunyai tiga komponen dasar yaitu unit injeksi, clamping unit dan sistem control.⁶
2. Cetakan, merupakan cetakan yang terbuat dari baja berongga sesuai dengan bentuk produk. Cetakan berfungsi memberikan bentuk pada resin yang telah dilelehkan. Cetakan yang digunakan terbuat dari material logam 2311 untuk bagian *cavity* dan *core*, sedangkan untuk bagian *base* terbuat dari logam SS400. Cetakan yang digunakan untuk pembuatan komponen tepi samping ranjang rumah sakit dibuat pada tahun 2008.
3. Timbangan, berfungsi untuk menimbang material plastik ABS dan zat pewarna sesuai dengan kebutuhan. Timbangan yang digunakan merupakan timbangan digital dengan kapasitas 100kg.
4. *Hopper dryer*, berfungsi untuk mengeringkan material yang membutuhkan pengeringan sebelum pencetakan. *Hopper dryer* yang digunakan dilengkapi dengan pengaduk untuk mencampur material plastik ataupun zat pewarna dengan kapasitas hingga 100kg.

Metode

Metode pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis adalah pengamatan, wawancara dan studi pustaka. Pengamatan dilakukan secara langsung dengan mengawasi proses produksi. Wawancara dilakukan dengan melakukan tanya jawab pada operator, kepala bagian, kepala unit, dan divisi *material development*. Topik wawancara yang ditanyakan mengenai proses produksi, penanganan material, perawatan mesin dan perbaikan mesin. Studi pustaka dilakukan dengan cara mempelajari literatur yang berhubungan dengan materi-materi yang berkaitan dengan data kecacatan garis perak yang diperoleh di lapangan dan studi kasus terdahulu, baik mempelajari sumber literatur tercetak maupun *online*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen tepi samping ranjang rumah sakit merupakan penutup bagian samping pada ranjang rumah sakit. Produk tersebut dihasilkan dari proses injeksi plastik dengan mesin cetak injeksi dari material plastik ABS. Data spesifikasi produk dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi produk komponen tepi samping ranjang rumah sakit

Nama komponen	Komponen tepi samping ranjang rumah sakit
Bahan	ABS <i>Magnum A 136</i>
Pewarna	Plast Grey Beige 16634
<i>Cycle time</i>	196 detik
Jumlah <i>cavity</i>	1 buah
Berat bruto produk	1245 gram/buah

Cacat garis perak yang terjadi pada proses pembuatan komponen tepi samping ranjang rumah sakit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Produk dengan cacat garis perak

Faktor penyebab

Beberapa faktor penyebab terjadinya cacat garis perak antara lain:

1. Material mengeras dalam silinder karena tidak dilakukan pencucian setelah produksi terakhir sehingga terdapat udara yang terjebak dan akan menempel pada material pada proses injeksi berikutnya.
2. Material yang terdegradasi karena pemanasan berulang, disebabkan oleh tidak dilakukannya pencucian silinder pada produksi sebelumnya, maka material akan mengeras dalam silinder. Sehingga pada proses injeksi pada hari berikutnya, material akan mengalami pemanasan berulang saat proses plastisasi, hal ini dapat menimbulkan material tergradasi dan menimbulkan uap air.
3. Suhu cetakan yang tidak stabil, pengaturan suhu cetakan dapat berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Pada proses pembuatan komponen tepi samping ranjang rumah sakit, cetakan yang digunakan adalah cetakan yang tidak menggunakan aliran pendingin. Sehingga cetakan mudah panas dan cenderung tidak stabil, sedangkan suhu cetakan yang disarankan untuk pemrosesan produk dengan material ABS adalah 40-80°C (Misono, 1993).⁷

Menurut Jozef (2014) kelembapan dalam butiran polimer dianggap sebagai alasan utama terjadinya cacat garis perak.⁸ Beberapa bahan plastik yang bersifat higroskopis menyerap uap air dengan tingkat tertentu selama dalam penyimpanan. Apabila bahan tidak dikeringkan dengan baik sebelum dicetak, uap air yang berada dalam resin akan menempel pada permukaan bagian yang dibentuk, juga selama plastisasi, sejumlah gas dapat terperangkap dan tercampur dalam lelehan material. Jika udara tidak keluar selama proses injeksi, udara dapat menyebar dan menempel pada permukaan dan menimbulkan cacat garis perak. Kontaminan dan partikel bahan yang tergradasi dan hangus selama pencetakan juga dapat menjadi penyebab cacat garis perak, hal ini dikarenakan partikel yang terbakar dan tergradasi kan menghasilkan gas tambahan yang terperangkap dalam proses plastisasi. Cacat produk dapat terjadi bila tidak tepat dalam menentukan pengaturan parameter proses tekanan injeksi, temperatur injeksi, serta waktu pendinginan. Kecenderungan terlalu rendahnya tekanan injeksi akan menyebabkan cacat produk berupa tidak penuh, *sink mark*, sedangkan apabila tekanan injeksi terlalu tinggi akan menyebabkan part *flashing*. Untuk parameter temperatur injeksi, temperatur injeksi yang terlalu rendah akan menyebabkan cacat produk berupa tidak penuh, *sink mark*, kotor, *flow mark*. Sebaliknya apabila temperatur injeksi terlalu tinggi akan menyebabkan cacat produk berupa garis perak dan *part flashing*. Selanjutnya, untuk parameter waktu pendinginan, nilai terlalu rendah akan menyebabkan masalah pada saat pelepasan produk dari cetakan. Waktu pendinginan yang lebih lama akan lebih baik namun kurang efisien dari sisi pemakaian waktu produksi (Cahyadi, 2012).⁹

Menurut Misono (1993) indikator terjadinya cacat garis perak antara lain adalah proses dan pengaturan mesin, cetakan, mesin cetak injeksi, resin, dan desain cetakan produk. Dari indikator proses dan pengaturan mesin dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu, *predrying* tidak mencukupi, kecepatan injeksi terlalu cepat, kapasitas injeksi tidak mencukupi (mendekati batas maksimal kapasitas injeksi), temperatur silinder terlalu tinggi, putaran *screw* (*screw rpm* terlalu tinggi), *back pressure screw* terlalu tinggi, mesin injeksi terlalu besar, serta pergantian material. Hal tersebut dapat diatasi dengan memastikan kesesuaian *predrying*, menyesuaikan kecepatan injeksi dan mempertimbangkan penggunaan program simulasi kecepatan injeksi, menggunakan

kapasitas mesin yang cukup, menurunkan temperatur silinder, mengurangi kecepatan *screw*, mengurangi *back pressure*, menggunakan mesin injeksi yang tepat, serta mengangani material baru dengan cermat. Penyebab dari indikator cetakan antara lain, *sprue*, *runner* dan *gate* terlalu sempit, dan ventilasi udara cetakan yang buruk. Hal tersebut dapat diatasi dengan perluasan area yang dapat meningkatkan pengisian lelehan resin serta memasang ventilasi udara. Sedangkan dari indikator jenis resin antara lain banyaknya udara yang dihasilkan ketika pelelehan resin, dan penggunaan material daur ulang. Untuk menangani permasalahan tersebut, maka penggunaan material daur ulang perlu lebih dicermati. Desain cetakan juga menjadi indikator penyebab cacat garis perak apabila produk yang dicetak terlalu tipis atau mempunyai porsi ketebalan yang tidak merata. Posisi *gate* yang tidak sesuai, melebarnya aliran resin, dan cetakan yang memiliki sudut tajam. Hal tersebut dapat diatasi dengan memastikan *cavity* dapat terisi pada kecepatan injeksi rendah, memindahkan lokasi *gate*, memindahkan *gate* dan memperkecil ukuran *gate*, serta menggunakan sudut yang lebih bulat (tidak tajam) untuk meningkatkan aliran resin.

Berdasarkan hasil analisis dan studi literatur yang dilakukan, cacat garis perak dapat diatasi dengan melakukan pencucian silinder dan menjaga suhu optimum pada cetakan dengan menggunakan MTC. Berikut perbaikan yang perlu dilakukan:

1. Melakukan cuci silinder

Cacat garis perak banyak terjadi di awal produksi dan saat setelah istirahat, waktu produksi terdiri atas dua shift kerja, shift pertama dimulai dari jam 07.00 hingga 16.00 dengan waktu istirahat jam 12.00 sampai 12.45, sedangkan shift dua dimulai pada jam 15.30-23.00. Pengambilan data dilakukan pada produksi di shift kerja pertama. Cacat garis perak paling banyak terjadi pada awal penginjekan di shift pertama kerja, hal ini dikarenakan pada shift dua di akhir produksi tidak dilakukan pencucian silinder, sehingga terdapat sisa material yang tertinggal dalam silinder sehingga menimbulkan udara terjebak dalam silinder karena material akan mengeras dan menimbulkan ruang dalam silinder, selain itu material dalam silinder mungkin tergradasi karena pemanasan ulang untuk plastisisasi pada penginjekan pertama. Pencucian silinder dilakukan menggunakan resin polistiren atau resin lain yang tidak memiliki warna. Sebelum silinder dibersihkan hal yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah memastikan bahwa *hopper* sudah kosong. Kemudian suhu *barrel* dinaikkan diatas suhu leleh resin agar material lebih cair sehingga mudah saat dikeluarkan. Kecepatan *recovery* juga dinaikkan lalu resin dikeluarkan hingga silinder kosong. Setelah silinder kosong, material yang digunakan untuk mencuci silinder dimasukkan dalam *hopper*. Suhu *barrel* di atur melebihi suhu leleh material pencuci dan *recovery* dinaikkan. Material pencuci kemudian dikeluarkan dari *barrel* melalui *nozzle* hingga lelehan resin yang keluar bersih tidak bewarna.

Cacat garis perak dapat dipicu oleh udara yang terperangkap dan menempel pada material baik sejak pengeringan material atau saat plastisisasi dalam silinder, masalahnya dapat dihindari dengan mengeringkan material dengan baik atau menggunakan kecepatan injeksi dengan lebih rendah agar tidak ada udara yang terperangkap.¹⁰

2. Menjaga suhu cetakan agar tetap stabil pada suhu 40-80°C

Temperatur atau suhu cetakan sangat berpengaruh terhadap proses injeksi, sehingga temperatur cetakan harus di atur sesuai dengan material yang akan digunakan (Saputra, 2018).¹¹ Suhu cetakan dapat menggunakan air dari *cooling tower* apabila hanya dibutuhkan suhu pendingin di angka 30-38°C. Namun apabila dibutuhkan suhu cetakan luar batasan tersebut, maka dibutuhkan tambahan alat untuk pengontrol suhu, yaitu:

1. Untuk suhu dibawah 30°C, dibutuhkan suatu alat yang disebut *water chiller*. Biasanya ini digunakan untuk suhu rendah.
2. Untuk suhu diatas 38°C, dibutuhkan alat yang disebut *Mould Temperature Control (MTC)*. Alat ini digunakan untuk penggunaan suhu tinggi. Kesalahan menentukan suhu cetakan dapat menyebabkan cacat berupa: *short shot*, *sink mark*, *silver streaks*, *flowmark*, *bubble*, deformasi, dimensi tidak standar, dll. (Walter, 1995).¹²

Weld line dan *sink marks* serta cacat pada permukaan lain sangat tidak diinginkan dan mengganggu estetika plastik ABS dengan ketahanan terhadap api. Untuk permukaan yang baik maka diberi perlakuan dengan menggunakan suhu cetakan logam yang lebih tinggi (60-80°C) serta suhu cetakan harus dijaga tetap stabil (Misono, 1993).

3. Melakukan pemeliharaan terjadwal terhadap mesin produksi

Dengan melakukan penjadwalan pemeliharaan keandalan mesin dapat ditingkatkan (Widyaningsih, 2011).¹³ Perusahaan hanya melakukan perawatan mesin berupa perawatan perbaikan apabila telah terjadi kerusakan pada mesin produksi. Sedangkan menurut Fatmawati dan Arief (2018) usulan penerapan pemeliharaan terjadwal mampu menurunkan waktu kerusakan mesin sebesar 30% hingga 40% sehingga waktu

operasional mesin dapat berjalan maksimal dan target produksi dapat tercapai.¹⁴ Menurut Mulawarman (2016)¹⁵ perawatan mesin terjadwal yang dapat dilakukan terhadap mesin cetak injeksi antara lain:

Tabel 2. Jadwal perawatan mesin injeksi

No.	Part	Perawatan harian	Perawatan mingguan	Perawatan bulanan
1.	<i>Thermocouple</i>	Pemeriksaan suhu lingkungan sekitar mesin dan pembersihan komponen setelah proses produksi selesai	Pemeriksaan <i>thermocouple</i> bekerja dan terpasang dengan baik serta pemeriksaan <i>blanket barrel</i>	Pembongkaran barrel untuk mengecek kondisi <i>part</i> dan komponen
2.	<i>Clamping unit</i>	Pemeriksaan kadar korosi pada <i>clamp</i> dengan <i>borescope</i> dan pemeriksaan kadar <i>grease</i>	Pemeriksaan <i>clamp</i> terpasang dengan baik pada mesin secara visual dan pemeriksaan kadar korosi <i>clamp</i> dengan <i>borescope</i>	Pembongkaran <i>barrel</i> untuk mengecek kondisi <i>part</i> dan komponen.
3.	<i>Open nut</i>	Pembersihan <i>part</i> setelah proses produksi selesai	Pemeriksaan <i>open nut</i> terpasang dengan baik pada mesin secara visual	Pembongkaran <i>nozzle</i> untuk mengecek kondisi <i>part</i> dan komponen
4.	<i>Clirclip</i>	Pembersihan <i>part</i> setelah produksi selesai	Pemeriksaan <i>clirclip</i> terpasang dengan baik pada mesin secara visual	Pembongkaran <i>nozzle</i> untuk mengecek kondisi <i>part</i> dan komponen

KESIMPULAN

Cacat garis perak disebabkan oleh uap air yang menempel pada material dan ikut terinjeksi akibat dari kelembapan yang tinggi. Cacat garis perak dapat diatasi dengan cara melakukan pengeringan material dengan sesuai, mencuci *barrel* dan menurunkan kecepatan injeksi untuk mencegah udara terperangkap dalam silinder dan mengatur suhu silinder dan cetakan agar suhu tetap stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumar, A., Ashwin, Karchick K. Dan K.P. Arumingan, 2011, *Biodegradable Polymers and its Application, International Journal of Bioscience Biochemistry, and Bioformatics*, (13):173-176.
- Yulianto, I., Rspianda, Prassetiyo, H., 2014, *Rancangan Desain Mold Produk Knob Regulator pada Proses Injection Molding Berbahan Polypropylene (PP)*, Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- SNI 7276:2014, Tangki Air Silinder Vertikal- Polietilena.
- Putra, E., 2014, *Analisis Waktu Proses Perakitan Non Value Added Activity yang Terjadi di Stasiun Assembly Menggunakan Value Sistem Mapping*, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Ginting, D., Isabella, M., 2018, Minimalisasi Produk Cacat Proses *Injection Moulding* PT. XYZ Dengan Menggunakan Quality Filler Mapping, *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, 7(25):27-36.
- Charles A. Harper., Edward M. Petrie, 2003, *Plastic Materials and Process: A Concise Encyclopedia*, John Willey & Sons. Inc, ISBN:9780471456032.
- Misono, Shozo, 1993, *Injection Molding*, Technical Instruction of Japan Plastic Product Industrial Association, Japan. Mujiarto, I., 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik & Bahan Aditif*, Staff Pengajar AMINI Semarang.
- Jozef, B., Antonim, N., Martin, K., Miroslav K., Lucas, L., 2014, *Silver Streaks On Surface Of Injected Thermoplastic Parts*, Faculty of Materials Science and Technology, Trnava Slovak University of Technology, Brastislava, 22(34):21-28.
- Cahyadi, D., 2012, Analisis Parameter Operasi pada Proses *Injection Moulding* untuk Pengendalian Cacat Produk, *Jurnal Sainstek*, 8(2):8-17, ISSN:2088-9038.
- SBP Board of Consultan & Engineers, *SBP Handbook of Small Scale Plastic Project & Processing Techniques*, SBP Consultan & Engineers Pvt. Ltd, India.
- Saputra, I., Satoto, S.P., Yanto, H., 2018, Analisa Pengaruh Temperatur dan Tekanan *Injection Molding* Terhadap Cacat Produk, *Jurnal Integrasi*, 10(1):1-6.
- Walter, M., Gerd, P., 1995, *Injection Moulding an Introduction*, Hanser Publisher, New York.
- Widyaningsih, S.A., 2011, *Perancangan Penjadwalan Pemeliharaan Pada Mesin Produksi Bahan Bangunan Untuk Meningkatkan Keandalan Mesin dengan Metode Rellability Centered Mintenance (RCM)*, Fakultas Teknik Program Industri, Universitas Indonesia, Depok.

14. Fatmawati, D., dan Arief, D.R., 2018, *Penerapan Pemeliharaan Terjadwal Untuk Mendukung Pencapaian Target Produktivitas*, Seminar Nasional Teknologi dan Inovasi Industri (SENRISTI), Balai Riset dan Standarisasi Industri, Surabaya.
 15. Mulawarman, F.A., dan Iskandar, 2016, Perencanaan Perawatan Mesin Injection Molding dengan Menggunakan Metode Centered Maintenance di PT. Victory Plastic, *Jurnal Teknik Mesin*, 4(3):99-110.
-

ANALISIS CACAT PADA PROSES PEMBUATAN SERAT STAPEL POLIESTER DARI DAUR ULANG BOTOL PET (POLIETILEN TEREFTALAT)

DEFECTS ANALYSIS ON THE PRODUCTION PROCESS OF POLYESTER STAPLE FIBER FROM RECYCLED PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) BOTTLE

Royhanatul Jannah, Cahya Widiyati

Politeknik ATK Yogyakarta
Jalan Prof. Dr. Wirdjono Prodjodikoro, Glugo, Panggunharjo, Sewon, Bantul, Yogyakarta 55188
Telp : +6285640240533
E – mail: royhanajan98@gmail.com

ABSTRAK

Cacat produk pada pembuatan serat stapel poliester terjadi karena kualitas dari *flake* daur ulang yang tidak memenuhi standar nilai kadar air *flake* kering yaitu 0,03% serta suhu dari pendingin yang tidak mencapai suhu optimum yaitu 27°C. Cacat produk yang terbentuk yaitu cacat *stick* dan cacat bubuk. Serat stapel poliester yang lolos dalam kategori produk bagus yaitu memiliki persentase cacat *stick* 0,01% dan 0,05% untuk cacat bubuk. Untuk mengurangi jumlah produk cacat dapat dilakukan dengan melakukan pengendalian kualitas bahan baku yaitu melakukan uji kualitas terhadap *flake*, melakukan pembersihan spinneret secara berkala agar lubang – lubang spinneret tidak tersumbat oleh polimer yang membeku, serta menjaga suhu *quenching air* tetap optimum agar filamen terbentuk dengan sempurna.

Kata kunci: cacat *stick*, cacat bubuk, *flake*, *quenching air*, spinneret

ABSTRACT

Product defects in the manufacture of polyester staple fiber occur because the quality of the recycled flake does not meet the standard value of dry flake moisture content, namely 0.03% and the temperature of the cooler does not reach the optimum temperature, namely 27 °C. The defects formed are stick defects and powder defects. Polyester staple fiber that passes in the good product category has a stick defect percentage of 0.01 % and 0.05 % for powder defects. To reduce the number of defective products, it can be done by controlling the quality of raw materials, namely conducting quality tests on the flakes, cleaning the spinnerets regularly so that the spinneret holes are not clogged by frozen polymers, and maintaining temperature water quenching optimum so that the filaments are perfectly formed.

Keywords: *stick defect, powder defect, flake, water quenching, spinneret*

PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan permasalahan lingkungan hidup yang masih dihadapi oleh Indonesia dan dunia. Penggunaan produk plastik yang berlebih secara tidak langsung menyebabkan berbagai masalah lingkungan, salah satunya pencemaran lingkungan. Berdasarkan asumsi dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), penduduk Indonesia setiap harinya dapat menghasilkan 0,8 kg sampah perorang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah perhari. Berdasarkan hasil tersebut 15 % merupakan sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik perhari yang dikonsumsi.¹

Botol plastik dari PET merupakan salah satu jenis sampah plastik yang masih menjadi permasalahan global. Sampai saat ini pengolahan limbah botol PET perlu dilakukan peningkatan dalam penanganannya, karena jenis plastik ini sulit terdegradasi secara alami.

Salah satu cara menangani mengurangi limbah botol plastik PET yaitu dengan mendaur ulang botol PET bekas menjadi serat stapel poliester. Serat stapel poliester biasanya terbuat dari polimer sintetis yang terbuat dari material plastik jenis PET. Plastik PET yang digunakan dibagi menjadi dua yaitu PET yang masih original dan hasil dari daur ulang.²

Produk serat stapel poliester dari daur ulang botol PET dapat dihasilkan dengan beberapa tahapan proses mulai dari pembuatan *flake* dari botol PET, *drying* (pengeringan), *spinning* (pemintalan), dan proses *drawing*.

Namun dalam proses pembuatan serat stapel poliester dari daur ulang botol PET terdapat beberapa kendala yaitu terjadinya cacat akibat kualitas *flake* daur ulang serta pemrosesan yang masih perlu diperbaiki menyesuaikan kualitas dari *flake* daur ulang itu sendiri. Maka dari itu penulis melakukan pengkajian terhadap penyebab terjadinya cacat pada pembuatan serat stapel poliester.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan serat stapel poliester dari daur ulang botol PET, meliputi:

- Flake* PET daur ulang sebagai bahan baku.
- Titanium dioksida sebagai penghilang kilap kaca *flake* pada saat proses *drying*.
- Optical brightness* sebagai pencerah *flake*.
- Oil wacker* sebagai minyak untuk memberi efek bening pada filamen.
- Oil QL 2825* sebagai minyak antistatik dan memberikan efek lembut pada filamen.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan serat stapel poliester dari daur ulang botol PET, yaitu :

- Dryer* memiliki fungsi untuk mengurangi kadar air didalam *flake*. *Flake* akan dipanaskan dalam *dryer* dengan udara yang berasal dari *heater*. Udara yang digunakan merupakan udara tekan yang disuplai dari utilitas yang telah dihilangkan kandungan air dan udaranya sehingga akan diperoleh udara yang memiliki sifat seperti nitrogen.
- Spinning* berfungsi untuk memproses *flake* dengan suhu tertentu hingga meleleh dan dibentuk menjadi filamen – filamen dalam satu kesatuan bentuk benang. Panas yang digunakan dalam proses *spinning* yaitu panas yang dihasilkan dari *heater* dan uap panas yang berasal dari boiler untuk menjaga suhu lelehan *flake*.
- Take – up* berfungsi sebagai alat pembentukan gulungan benang dari gabungan beberapa filamen menjadi satu kesatuan bentuk benang (*cable*) serta penentuan ukuran dai filamen.
- Drawing* merupakan proses pembentukan denier serta proses *crimping* (pengkeritingan),serta proses pengeringan serat stapel poliester.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serat stapel poliester merupakan serat yang terbuat dari polimer alam maupun polimer sintesis. Biasanya serat stapel poliester dari polimer sintesis terbuat dari material plastik jenis PET. plastik PET yang digunakan dibagi menjadi dua yaitu PET original dan hasil dari daur ulang. Pada Tabel 1 berikut disajikan jenis – jenis dari serat stapel poliester beserta ukuran, panjang, serta kegunaannya.

Tabel 1. Jenis – jenis poliester *staple fiber* dari daur botol PET

Jenis poliester <i>staple fiber</i>	Ukuran (denier/D)	Panjang (mm)	Kegunaan
<i>Hollo Conjugated Siliconized</i>	7, 9, 15	32, 51, 64, 72, 76	Sebagai isian guling, bantal, boneka, dll.
<i>Hollo Cojugated Non – siliconized</i>	7, 9, 15	32, 51, 64, 72, 76	Bahan baku untuk produk tidak dirajut (<i>non – woven</i>)
Solid	0.9, 1.2, 1.4, 1.5, 3, 6, 7, 9, 15, 20, 30	32, 51, 64, 72, 76	Bahan baku untuk produk tidak dirajut (<i>non – woven</i>)

Faktor utama penyebab cacat adalah bahan baku yang digunakan, karena material yang digunakan adalah daur ulang dari botol PET maka perlu dilakukan secara khusus yaitu pencucian, penyortiran, serta ukuran *flake*. Sehingga menghasilkan cacahan *flake* yang berkualitas sesuai standar untuk produksi.³ Standar kadar air *flake* kering dari daur ulang botol PET yaitu 0,03010%. Karena kadar air akan mempengaruhi proses pelelehan pada proses *spinning*. Kadar air yang berlebih dapat menyebabkan kelembaban polimer yang tidak merata saat proses pelelehan yang akan menyebabkan penyumbatan pada lubang- lubang spinneret. Pengaturan suhu pada *quenching air* juga perlu diperhatikan, pada proses pendinginan suhu harus stabil di nilai 27°C untuk menjaga kualitas filamen.⁴ Perwujudan bentuk cacat pada serat poliester dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu gambar serat stapel poliester dengan cacat. Sedangkan Gambar 2 memperlihatkan lebih jelas wujud dari cacat yang terdapat dalam produk serat stapel poliester.



Gambar 1. Poliester *staple fiber* dengan cacat



Gambar 2. Cacat produk

Penanganan cacat perlu dilakukan guna mengurangi jumlah cacat saat produksi. Berdasarkan analisa dan studi literatur yang perlu dilakukan untuk meminimalisir cacat yaitu dengan melakukan pengendalian kualitas bahan baku, pembersihan spinneret, dan menjaga suhu pendingin tetap optimum. Berikut ini upaya perbaikan yang perlu dilakukan.

a. Pengendalian kualitas bahan baku

Flake PET daur ulang harus memiliki spesifikasi yang bagus, untuk mendapat *flake* daur ulang berkualitas botol PET perlu melalui tahapan proses yaitu pencucian, pencacahan, dan penyortiran *flake* hasil daur ulang lolos uji laboratorium.⁵ Adapun pengujian *flake* yang lebih efektif yaitu: 1. Uji kadar air *flake* kering dengan mengukur pengurangan berat hasil pengeringan dengan suhu 180 °C dalam kondisi vakum, 2. Pengujian mengetahui kadar COO⁻ dalam *flake*, 3. Pengujian mengetahui derajat polimerisasi (viskositas spesifik), 4. Pengujian mengetahui banyaknya kotoran yang terdapat dalam *flake* dengan cara menimbang bintik – bintik hitam yang terdapat dalam permukaan *flake*. 5. Pengujian mengetahui titik leleh *flake* polimer, 6. Pengujian mengetahui kadar dietilena glikol, 7. Pengujian mengetahui derajat kekuningan dan derajat kecerahan *flake*. 8. Pengujian mengetahui konsentrasi TiO₂ sebagai kadar abu.⁶

b. Pembersihan spinneret secara berkala

Pembersihan spinneret dapat menggunakan metode *TEG bath* yaitu membersihkan spinnrete dan CPF (*continuous polymer filter*) dari lelehan *flake* yang melekat dengan menggunakan etilena glikol sebagai media pencuci. Perlunya menerapkan jadwal *wipping* yaitu pembersihan spinneret menggunakan *spinkote sprayer* untuk menjaga filamen agar tetap bersih dari debu – debu yang menempel pada permukaan spinneret. *Wipping* dilakukan secara rutin yaitu setiap 56 jam sekali untuk setiap spinneret.⁷

Indikator penyebab cacat dalam pembuatan filamen yaitu penggunaan suhu yang kurang stabil sehingga menyebabkan polimer tidak mengalami proses pelelehan secara menyeluruh. Maka dari itu pada saat *flake* memasuki ekstruder untuk proses pelelehan pada zona pertama, suhu harus lebih rendah guna mengatur jalannya proses pelelehan. Suhu rendah diperuntukkan agar nilai *melt* agar tetap dibawah. Jika diberikan suhu tinggi diawal akan menyebabkan terjadinya penyumbatan di spinneret sehingga akan terjadi penyumbatan pada dinding – dinding spinneret oleh polimer yang menempel.⁸

Pada Tabel 2 ditunjukkan pembagian zona ekstruder untuk proses pelelehan.

Tabel 2. Proses pelelehan pada mesin ekstruder⁹

Zona	Suhu (°C)	Proses
1	278	Persiapan pelelehan.
2	288	Pelelehan <i>flake</i> menjadi polimer.
3	290	Pelelehan <i>flake</i> menjadi polimer.
4	292	Pelelehan <i>flake</i> menjadi polimer.
5	288	Pemberian tekanan pada cairan polimer.
6	278	Pencampuran polimer.

c. Menjaga suhu *quenching air* (udara pendinginan) tetap optimum

Suhu pendinginan pada proses *spinning* sangat berpengaruh terhadap kualitas produk, maka dari itu suhu pendingin harus diatur agar mendapat kualitas produk yang baik. Pendinginan membantu pembentukan orientasi molekul polimer setelah keluar dari lubang spinneret agar mendapat kualitas filamen yang baik.¹⁰ Berikut ini spesifikasi *quenching air*, yaitu: 1. Suhu: 27 ± 1 °C, 2. Tekanan: $0,65 \pm 15$ Pa, 3. Kelembaban udara: 65 ± 5 %.¹¹

KESIMPULAN

Cacat produk diakibatkan karena kadar air pada *flake* kering tidak mencapai nilai 0,03% serta proses pelelehan yang kurang sempurna sehingga menyebabkan polimer mengkristal dan mengakibatkan penyumbatan pada spinneret. Untuk mengatasi agar cacat tidak terjadi yaitu dengan melakukan pengendalian kualitas bahan baku, melakukan pembersihan spinneret secara berkala dengan menerapkan jadwal *wipping*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Surono, Untoro Budi. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. Universitas Janabara Yogyakarta. Jurnal Teknik. 3 (1), 32-40, ISSN 2088 – 3676. (2013).
2. Sihab, Fahm. Pembuatan Benang Poliester dari Polyethylene Terephthalate (PTA) [paper]. Teknik Kimia. Semarang, (2014).
3. Fitriyano, Gema, dan Dicka Ar Rahim. Tinjauan Singkat Potensi Pemanfaatan Botol Bekas Berbahan Polyethylene Terephthalate di Indonesia. Eksergi. 16 (10). ISSN: 1410-394X.
4. Fernandi, Rian, dan Ardianto. Pra Rancangan Pabrik Benang POY 165 / 96 SDC dengan Kapasitas 8000 ton / tahun [Tugas Akhir]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018).
5. Warakah, Miftahul dan Muhammad Adzan F. . PT. Indonesia Toray Synthetics Departement Polyester Staple fiber [laporan kerja praktek]. Serpong : Institut Teknologi Indonesia. (2016).
6. Fernandi, Rian, dan Ardianto. Pra Rancangan Pabrik Benang POY 165 / 96 SDC dengan Kapasitas 8000 ton / tahun [Tugas Akhir]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018).
7. Rani, Maulita D., dan Inggit Dwi Lestari. Pra Rancangan Pabrik Filament Aramid untuk Diaplikasikan Pada Rompi Tahan Peluru Dari Bahan Baku Chips Poly – P – Phenylene Terephthalamide dengan Kapasitas Produksi 200 Ton/Tahun [skripsi]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018).
8. Fernandi, Rian, dan Ardianto. Pra Rancangan Pabrik Benang POY 165 / 96 SDC dengan Kapasitas 8000 ton / tahun [Tugas Akhir]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018).
9. Fernandi, Rian, dan Ardianto. Pra Rancangan Pabrik Benang POY 165 / 96 SDC dengan Kapasitas 8000 ton / tahun [Tugas Akhir]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018).
10. Rani, Maulita D., dan Inggit Dwi Lestari. Pra Rancangan Pabrik Filament Aramid untuk Diaplikasikan Pada Rompi Tahan Peluru Dari Bahan Baku Chips Poly – P – Phenylene Terephthalamide dengan Kapasitas Produksi 200 Ton/Tahun [skripsi]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018)
11. Rani, Maulita D., dan Inggit Dwi Lestari. Pra Rancangan Pabrik Filament Aramid untuk Diaplikasikan Pada Rompi Tahan Peluru Dari Bahan Baku Chips Poly – P – Phenylene Terephthalamide dengan Kapasitas Produksi 200 Ton/Tahun [skripsi]. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. (2018).

TEKSTIL FUNGSIONAL BERBASIS CARBON NANOTUBES UNTUK APLIKASI SENSOR ELEKTRONIK: SEBUAH TINJAUAN

CARBON NANOTUBES-BASED FUNCTIONAL TEXTILES FOR THE APPLICATION OF ELECTRONIC SENSOR: A REVIEW

Rizka Yulina

Balai Besar Tekstil, Jl. Jend. Ahmad Yani No. 390 Bandung 40272
E-mail: rizka-y@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Generasi selanjutnya dari *wearable technology* akan dikembangkan dari tekstil yang menggabungkan serat sensor, serat aktuator, dan juga serat yang memanfaatkan perpindahan atau panas laten untuk menghasilkan energinya sendiri. Untuk tujuan tersebut, diperlukan serat dengan konduktivitas listrik yang tinggi sekaligus memiliki sifat mekanik yang kokoh. Elemen sensor dan aktuator dihubungkan secara elektrik untuk sistem monitoring dan kontrol, serta terintegrasi dengan *power supply*. Implementasi sistem ini pada aplikasi perangkat yang dapat dipakai (*wearable*) dan ditanam (*implantable*) juga membutuhkan material dengan fleksibilitas, daya regang (*stretchability*), serta ketahanan terhadap kerusakan mekanik. Tekstil elektronik menggabungkan kemampuan elektronik seperti sensor, aktuator, penghasil energi, perangkat penyimpanan, serta komunikasi dengan kenyamanan dan kesesuaian dari tekstil konvensional. Sejalan dengan kebutuhan tersebut, *carbon nanotubes* (CNT) merupakan kandidat yang menjanjikan untuk pembuatan tekstil fungsional yang juga berfungsi sebagai *wearable devices*. Pada bidang tekstil, kemampuan mekanik, termal, dan elektrik dari CNT membuatnya sangat potensial untuk digunakan pada pembuatan tekstil konduktif. Sistem tekstil pintar dan fungsional berbasis material CNT dapat berfungsi luas, diantaranya pada pakaian olahraga, tekstil biomedis, tekstil otomotif, dan pakaian pelindung diri. Pada artikel tinjauan ini akan dibahas perkembangan penelitian tekstil fungsional berbasis CNT untuk aplikasi sensor elektronik serta peluang penerapan fabrikasinya di industri tekstil.

Kata kunci: *carbon nanotubes* (CNT), tekstil elektronik, sensor, tekstil konduktif, *wearable devices*

ABSTRACT

The next generation of wearable technology will be developed from textiles that incorporate sensor fibers, actuator fibers, and also fibers that utilize latent heat transfer or transfer to generate their own energy. For this purpose, a fiber with high electrical conductivity as well as having strong mechanical properties is required. The sensor and actuator elements are connected electrically for the monitoring and control system, and are integrated with the power supply. Implementing this system in wearable and implantable applications also requires materials with flexibility, stretchability, and resistance to mechanical damage. Electronic textiles combine electronic capabilities such as sensors, actuators, energy harvesters, storage devices, and communication with the convenience and compatibility of conventional textiles. In line with these needs, carbon nanotubes (CNTs) are promising candidates for the manufacture of functional textiles that function as wearable devices. In the textile field, the mechanical, thermal, and electrical capabilities of CNTs make it very potential for use in the manufacture of conductive textiles. Smart and functional textile systems based on CNTs materials can have a wide range of functions, including sportswear, biomedical textiles, automotive textiles, and protective clothing. In this review article, we will discuss the development of CNTs-based functional textile research for electronic sensor applications and the opportunities for its fabrication applications in the textile industry.

Keywords: *carbon nanotubes* (CNT), electronic textiles, sensor, conductive textiles, *wearable devices*

PENDAHULUAN

Carbon nanotubes (CNT) merupakan material dengan struktur karbon berukuran nano dan berbentuk tubular yang ditemukan pertama kali oleh Ijima pada tahun 1991. Nama CNT berasal dari strukturnya yang panjang, berbentuk *hollow* (berongga), dengan dinding terbentuk dari satu lembaran karbon setebal atom, yang disebut *graphene*. CNT diklasifikasikan menjadi 2, yakni *single-walled carbon nanotubes* (SWNT) dan *multi-walled carbon nanotubes* (MWNT). SWNT terdiri dari lembaran grafit tunggal yang membungkus dengan mulus membentuk tabung silinder, dengan diameter berkisar antara 0,4 hingga 2-3 nm dan rentang panjang mikrometer. Sedangkan MWNT terdiri dari hingga 10 lembaran grafit yang berdekatan dan membentuk tabung

silinder, dengan rasio panjang/diameter yang tinggi. Diameter dalam MWCNT mulai 0,4 hingga beberapa nanometer dan diameter luar mulai dari 2 hingga 20-30 nm.^{1,2}

Aplikasi *Carbon nanotubes* (CNT) saat ini sangat diminati pada berbagai bidang. Hal tersebut dikarenakan sifat material CNT yang mengagumkan, diantaranya kekuatan mekanik, konduktivitas termal dan listrik yang baik, tahan terhadap korosi dan oksidasi, serta memiliki luas area permukaan yang tinggi.¹⁻³ Dengan keunikan sifat tersebut, CNT telah diaplikasikan secara luas, yakni di bidang kedokteran, manufaktur nanoteknologi, elektronik, konstruksi, polimer, dan juga tekstil. Aplikasi yang banyak diminati yakni pada alat penyimpanan dan konversi energi, komposit berkekuatan tinggi, media penyimpanan hidrogen, aktuatur, nanoprobe dan sensor, alat elektronik, dan juga pada bidang katalisis.¹ Selain CNT, material karbon seperti *carbon black* dan *graphene* juga memiliki sifat konduktif. Namun bergantung dari pemilihan polimer konjugasi, jenis material karbon, dan juga campuran polimer dan nanokomposit, konduktivitas listrik bisa bervariasi mulai kurang dari 10^{-3} hingga lebih dari 10^3 S cm⁻¹.⁴

Di sisi lain, perkembangan riset material pintar yang berbasis serat saat ini sangat menarik perhatian karena potensi aplikasi pada berbagai bidang. Pada proses pembuatan serat, dapat terjadi peningkatan sifat mekanik dan elektrik, dan juga dapat dilakukan kontrol terhadap komposisi, luas permukaan, dan porositas. Generasi selanjutnya dari teknologi yang dapat dipakai (*wearable technology*) akan dibangun dari tekstil dengan menggabungkan serat sensor, serat aktuatur, dan juga serat yang memanfaatkan perpindahan atau panas laten untuk menghasilkan energinya sendiri. Hal penting yang sangat mendasar dan dibutuhkan untuk aplikasi ini adalah serat dengan konduktivitas listrik yang tinggi sekaligus memiliki sifat mekanik yang kokoh. Elemen sensor dan aktuatur dihubungkan secara elektrik untuk sistem monitoring dan kontrol, serta harus terintegrasi dengan *power supply*. Implementasi sistem ini pada aplikasi perangkat yang dapat dipakai (*wearable*) dan ditanam (*implantable*) juga membutuhkan material dengan fleksibilitas, daya regang (*stretchability*), serta ketahanan terhadap kerusakan mekanik.⁵ Tekstil elektronik menggabungkan kemampuan elektronik seperti sensor, aktuatur, penghasil energi, perangkat penyimpanan, serta komunikasi dengan kenyamanan dan kesesuaian dari tekstil konvensional.⁶

Sejalan dengan hal tersebut, CNT muncul sebagai kandidat material yang menjanjikan pada pembuatan tekstil pintar untuk berbagai aplikasi sensor elektronik dan berfungsi pula sebagai perangkat elektronik yang dapat dipakai (*wearable electronic devices*). Tekstil multifungsi (serba guna) berbasis CNT berpotensi untuk diaplikasikan pada pakaian olahraga, tekstil biomedis, geotekstil, tekstil otomotif dan elektronik, maupun pakaian pelindung diri. Untuk memperoleh berbagai fungsi, CNT telah dikombinasikan dengan berbagai material polimer, kain tenun, kain nir tenun (*nonwoven*), serat, dan juga alloy keramik.⁷ Artikel tinjauan ini berisi pembahasan mengenai tekstil sebagai sensor elektronik serta penelitian terkini material CNT sebagai bahan tekstil sensor elektronik. Selain itu, akan diulas pula potensi implementasi perkembangan teknologi tekstil fungsional sensor berbasis CNT tersebut di industri tekstil, khususnya di Indonesia.

TEKSTIL SEBAGAI SENSOR ELEKTRONIK

Kebutuhan akan tekstil, khususnya sandang dan non sandang, termasuk ke dalam kategori kebutuhan utama dan sangat lekat pada kehidupan manusia sehari-hari. Dewasa ini, seiring dengan perkembangan teknologi dan juga kebutuhan manusia untuk memperoleh akses berbagai informasi secara cepat dan akurat, muncul ide baru pengembangan tekstil pintar dan tekstil fungsional yang menawarkan fungsi lebih dari sekedar tekstil konvensional yang umum digunakan, diantaranya tekstil yang dapat berfungsi sebagai sensor elektronik. Sensor dapat didefinisikan sebagai suatu perangkat yang dapat mendeteksi suatu sinyal (stimulus) dan mengubahnya menjadi suatu sinyal yang dapat terukur secara elektronik. Sensor dapat merespon stimulus fisik seperti panas, cahaya, dan tekanan, kemudian menghasilkan keluaran untuk pengukuran kuantitas fisik dan juga melakukan operasi pengendalian. Sensor ini dapat diintegrasikan pada material tekstil, baik secara mekanik maupun struktural.⁸

Beberapa fungsi sensor telah dikembangkan untuk aplikasi tekstil elektronik yang dapat dipakai (*wearable electronic textiles*), diantaranya yakni tekstil untuk monitoring tanda vital kesehatan tubuh (yaitu denyut nadi, pernafasan, jantung, temperatur, dan pH keringat),⁹ deteksi gerakan (*motion detection*) tubuh (yaitu pergerakan persendian jari, pergelangan tangan, dan lutut),^{10,11,12} sensor tekstil untuk pemanas elektrik,¹² dan sensor tekanan.¹³ Sensor berbasis tekstil merupakan bagian dari tekstil sehingga tekstil tersebut juga merupakan bagian dari sensor. Sensor untuk garmen pakaian yang dapat dipakai digunakan untuk mengukur performa fisik dan atau rekaman kesehatan dari seorang partisipan olahraga atau pasien, serta berfungsi menindaklanjuti secara *real time* kondisi partisipan. Sensor dapat diintegrasikan juga pada peralatan pelindung personal seperti helm, sarung tangan dengan fungsi penuh.⁸

Prinsip pengembangan tekstil sensor elektronik yang diterapkan pada berbagai penelitian tersebut pada umumnya memanfaatkan kemampuan regangan dan tekanan dari suatu material. Prinsip sensor tekanan dan regangan (*strain and pressure sensor*) yakni mengubah berbagai respon berupa gaya (*force*), tekanan (*pressure*), dan tegangan (*tension*), dan bobot (*weight*) menjadi suatu perubahan hambatan listrik yang dapat

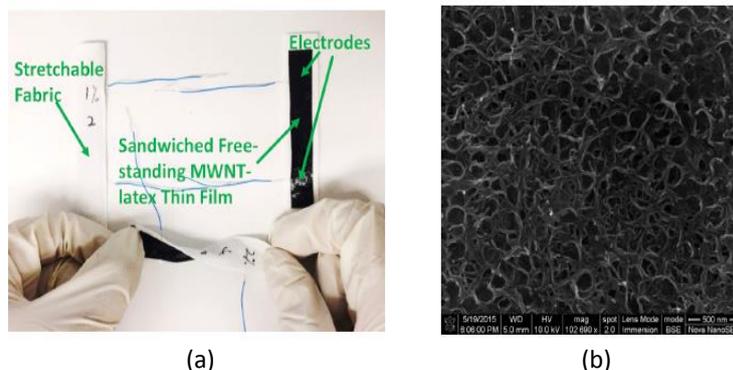
terukur.¹² Sensor regangan elektronik dapat menghasilkan sinyal elektrik sebagai respon dari suatu deformasi regangan yang dihasilkan dari suatu kerja eksternal. Integrasi dari material konduktif dan juga substrat yang fleksibel merupakan metode yang umum digunakan untuk membuat sensor regangan yang fleksibel.⁵ Secara umum, beberapa kriteria material yang sesuai untuk aplikasi tekstil untuk sensor elektronik tersebut, diantaranya memiliki sifat konduktif dan resistif yang sensitif terhadap regangan (*conductivity/resistivity sensitive to strain*), dapat dicuci, tahan terhadap pencucian (*washability & durability*), fleksibel, *stretchable*, ringan, nyaman, dan juga biaya produksi yang rendah.^{8,14} Selain itu, sensor regangan yang baik juga memiliki rentang regangan yang besar untuk memonitor pergerakan manusia, kemampuan pemulihan dari deformasi yang cepat, sensitivitas yang tinggi, dan juga respon yang cepat.¹²

Permasalahan yang seringkali dihadapi dari pengembangan tekstil untuk aplikasi sensor elektronik yaitu rentang regangan material yang kecil, rusaknya struktur kain dan menurunnya kekuatan mekanik akibat proses yang dilakukan (misalnya akibat proses karbonisasi), biaya yang tinggi akibat penggunaan material konduktif dalam jumlah yang banyak, durabilitas produk, serta kendala-kendala pada proses *scale up* produksi.^{8,12,14} Berbagai keunggulan material CNT membuat penelitian tekstil sensor berbasis material CNT dengan berbagai kombinasi material/substrat dan metode proses semakin berkembang dengan karakteristik yang semakin baik. Diantara metode yang digunakan, diantaranya yaitu dengan pelapisan semprot (*spray-coating*), *exhaustion*, perendaman tekstil ke dalam larutan karbon (impregnasi), dan *melt extrusion*.^{1,15,16,17,18,19} Fabrikasi proses lainnya yang memanfaatkan CNT dan telah dikembangkan juga yakni menggunakan proses *wet spinning* dan juga *melt spinning*.^{20,21} Salah satu metode yang penting untuk membuat perangkat tekstil elektronik adalah dengan pelapisan (*coating*) secara konvensional menggunakan serat dan benang dengan material yang memiliki konduktivitas listrik untuk membuat kapasitor, resistor, transistor, baterai, dan sirkuit yang fleksibel. Pelapisan material konduktif ke bahan tekstil dapat menghasilkan kemampuan elektronik bahan dasar dengan cara yang mudah.⁶ Namun demikian, saat ini telah muncul pula beberapa metode selain pelapisan serat dan benang untuk pembuatan tekstil konduktif khususnya yang berbasis CNT. Berikut ini akan disajikan pembahasan mengenai beberapa penelitian terkini mengenai pembuatan tekstil sensor elektronik berbasis CNT.

RISET TEKSTIL SENSOR BERBASIS CARBON NANOTUBES (CNT)

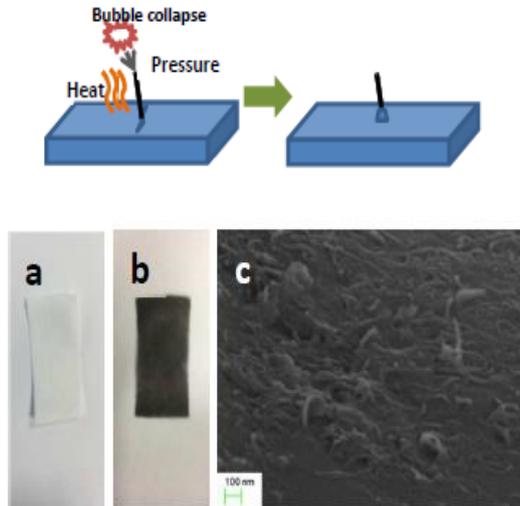
Penelitian pembuatan tekstil sensor dengan memanfaatkan material CNT telah dilakukan dengan berbagai metode dan kombinasi material substrat tekstil. Berbagai penelitian terkini yang telah dilakukan berupaya untuk memperbaiki kinerja produk Tekstil sensor dan memecahkan masalah yang muncul pada penelitian sebelumnya, diantaranya yakni nilai konduktivitas yang rendah, isu ketidaknyamanan (misal karena tebalnya lapisan tekstil konduktif dan material yang kurang fleksibel), terjadinya deformasi, elastisitas yang rendah, penggunaan material konduktif seperti CNT yang cukup banyak, serta kemampuan cuci dan durabilitasnya yang masih rendah.^{12-14,22}

Wang, et.al (2015) melakukan studi pengembangan sensor kain berbasis CNT yang nonintrusif, multifungsi, mampu regang (*stretchable*), dan dengan biaya rendah yang dapat digabungkan dengan pakaian dan dikenakan secara langsung untuk pemantauan kinerja tubuh manusia. Fabrikasi kain sensor dilakukan dengan membuat film konduktif dari MWCNT 1-3% yang didispersi pada 1% *poly(sodium 4-styrenesulfonate)* (PSS) dan *N-methyl-2-pyrrolidinone* (NMP), serta ditambah larutan latex dengan sistem *air spray*. Kemudian film dilapisi dengan bahan yang regang (*stretch*), yakni nilon 100% menggunakan perekat khusus dengan bantuan setrika dan ujungnya dihubungkan dengan 2 untai kawat elektroda (Gambar 1). Studi tersebut secara spesifik bertujuan untuk membuat sensor mampu pakai yang dapat digunakan untuk mengukur laju sistem pernafasan dan variasi temperatur tubuh.²²



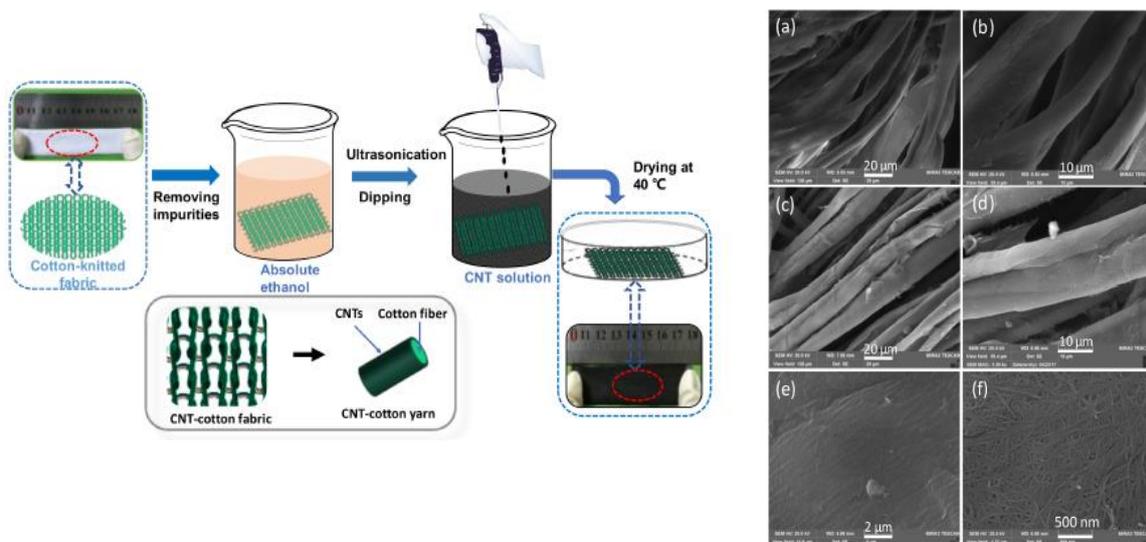
Gambar 1. (a) Sensor kain berbasis lapisan film 3 wt% MWCNT-Latex dan (b) hasil SEM film tipis latex-MWCNT 3 wt% dengan perbesaran 102690 kali²²

Fabrikasi tekstil elektronik berbasis CNT juga dilakukan oleh Du, et.al (2017) dengan menggabungkan material CNT ke dalam serat dengan adhesi yang kuat menggunakan metode *nanosoldering* (Gambar 2). Pada metode ini, MWCNT (0,1 mg/ml) didispersi pada pelarut, kemudian disolder pada permukaan serat kain nir tenun (*non-woven*) yang terbuat dari suatu polimer (berupa polipropilen, viskosa, LDPE, atau PET) dengan ultrasonikasi. CNT dapat menempel dengan kuat pada kain nir tenun dan tidak terlepas meskipun dengan pengadukan mekanik yang kuat. Sampel tekstil sensor elektronik ini digunakan secara spesifik untuk pengukuran sistem pernafasan dan denyut nadi.¹⁴



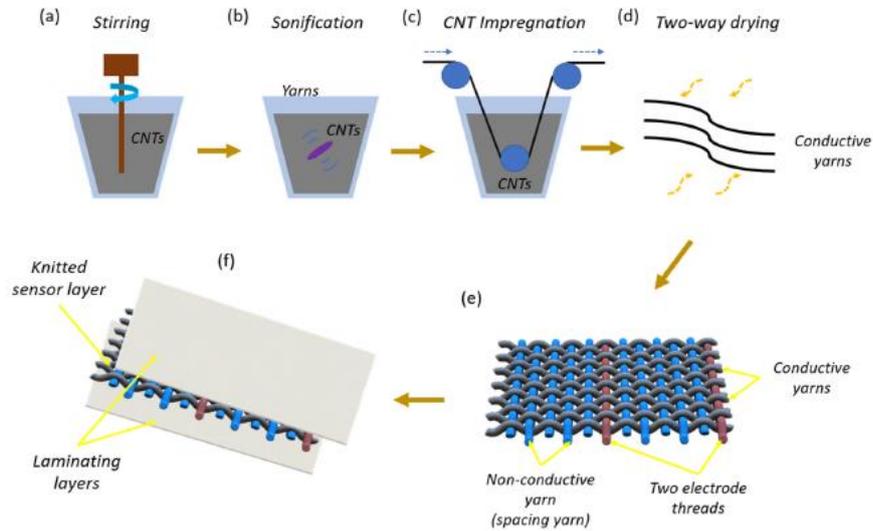
Gambar 2. Ilustrasi skema *nanosoldering ultrasonik* CNT pada permukaan polimer dan foto sampel: (a) sebelum dan (b) sesudah non-woven diultrasonikasi dalam dispersi MWCNT di dalam etanol pada suhu 0°C selama 15 menit, (c) Hasil SEM permukaan kain non-woven – CNT¹⁴

Yang, et.al (2018) membuat sensor regangan berbasis kain yang fleksibel, terbuat dari kain rajut kapas 97% dan poliuretan 3% yang dicelup ke dalam suspensi CNT 0,025-0,1 wt%, lalu diultrasonikasi, kemudian dikeringkan pada temperatur 40°C. Metode ini disebut juga metode celup-dan-kering (*dip-and-dry*) sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Tekstil sensor regangan yang fleksibel ini diaplikasikan untuk memantau pergerakan manusia secara *real time*, seperti berdiri, berjalan, berlari, jongkok, serta pergerakan jari, siku, dan juga tenggorokan. Tekstil juga menunjukkan efek pemanasan elektrik yang baik sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai perangkat elektronik mampu pakai (*wearable*) dan penghangat pada kondisi cuaca dingin.¹²

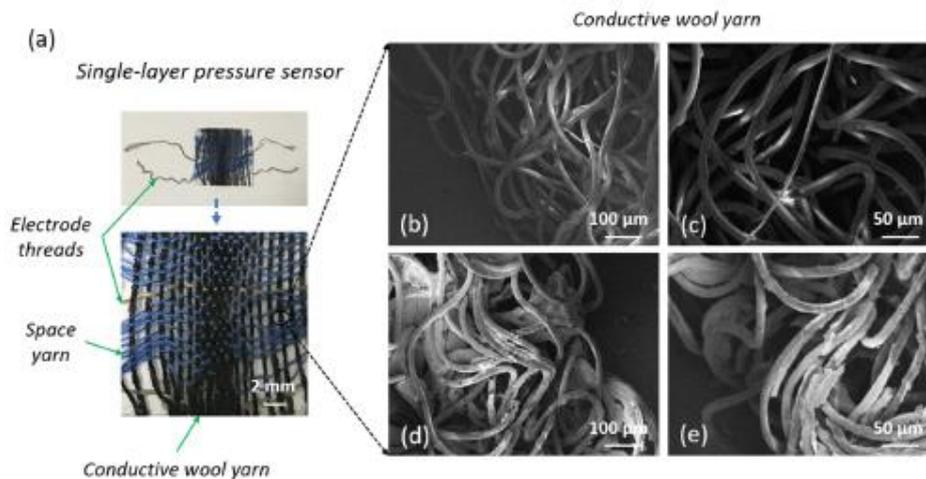


Gambar 3. Proses pembuatan kain kapas-CNT dengan metode celup dan kering (*dip and dry*) dan hasil SEM pada berbagai perbesaran¹²

Kim, et.al (2020) mengusulkan struktur baru yang terdiri dari sensor satu lapis. Benang wol non-konduktif diproses menjadi konduktif melalui proses impregnasi CNT. Lapisan penginderaan (*sensing layer*) kemudian dibuat dengan membuat jalinan anyaman atau tenun manual antara benang non-konduktif, serat konduktif, dan elektroda sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tekstil sensor tekanan satu lapis sangat tipis (0,4 mm), ringan, dan lebih cocok sebagai perangkat mampu pakai dibandingkan struktur multilapis yang konvensional. Aplikasi dari sensor ini digunakan pada sarung tangan untuk memantau pergerakan jari.¹³



Gambar 4. Proses fabrikasi benang konduktif, terdiri dari (a) pengadukan CNT, (b) sonifikasi, (c) impregnasi CNT pada benang, (d) pengeringan benang CNT, (e) penganyaman lapisan sensor, dan (f) sensor dengan dua lapisan laminasi¹³



Gambar 5. Contoh sampel sensor tekanan satu lapis dan hasil SEM pada berbagai perbesaran¹³

Jika ditinjau lebih lanjut, keempat penelitian mengenai tekstil sensor elektronik berbasis CNT tersebut menggunakan substrat, konsentrasi CNT, maupun metode aplikasi yang sangat beragam namun dengan aplikasi sensor yang tidak jauh berbeda, sebagaimana ringkasan yang disajikan pada Tabel 1 berikut ini. Sensor pada penelitian tersebut umumnya bertujuan untuk memantau sistem pernafasan, denyut nadi, maupun pergerakan anggota gerak tubuh. Sebagaimana telah dijelaskan bahwa prinsip kerja sensor ini adalah memanfaatkan kemampuan regangan (*strain*) dan tekanan (*pressure*) dari suatu material substrat yang bersifat konduktif dan mengubahnya menjadi hambatan atau konduktansi listrik yang terukur.¹² Oleh karenanya, material yang digunakan harus memiliki sifat konduktif yang sensitif terhadap respon regangan dan tekanan, serta memiliki kemampuan regang (*stretch*).^{8,14}

Tabel 1. Penelitian Tekstil Sensor Elektronik Berbasis CNT pada Berbagai Substrat dan Metode^{12-14,22}

Substrat Tekstil	Konsentrasi CNT	Metode Aplikasi	Stimulus / Aplikasi	Referensi
Nilon 100%	MWCNT 1-3%	Membuat film konduktif dari MWCNT-latex dengan <i>air spray</i> , kemudian film dilapis dengan bahan <i>stretch</i> nilon 100%	Mengukur laju sistem pernafasan dan variasi temperatur tubuh	Wang, et.al. (2015)
Polipropilen, viskosa, PET, dan LDPE	MWCNT 0,1 mg/ml	Membuat kain konduktif dengan metode <i>ultrasonic nanosoldering</i> CNT pada bahan <i>nonwoven</i>	Mengukur sistem pernafasan dan denyut nadi	Du, et. al. (2017)
Kapas 97% dan poliuretan (PU) 3%	CNT 0,025-0,1 wt%	Membuat kain kapas-CNT (CCF) dengan metode “ <i>dip and dry</i> ”	Memantau pergerakan manusia (berdiri, berjalan, berlari, jongkok, pergerakan jari, siku, dan tenggorokan) dan untuk pemanas elektrik	Yang, et. al. (2018)
Benang wol dan PET	Tidak disebutkan	Membuat kain konduktif dari benang wol yang diimpregnasi dalam larutan CNT dan ditunen bersama dengan benang PET dan benang elektroda	<i>Smart gloves</i> untuk memantau pergerakan jari	Kim, et. al. (2020)

HASIL KARAKTERISASI PRODUK TEKSTIL SENSOR ELEKTRONIK BERBASIS CNT

Untuk mengevaluasi kinerja dari masing-masing produk tekstil elektronik mampu pakai dilakukan serangkaian uji karakteristik produk sampel dan juga uji aplikasinya untuk berbagai keperluan. Di antara jenis karakterisasi yang dilakukan untuk menilai kinerja tekstil sensor elektronik, yakni nilai resistansi atau konduktivitas listrik, kinerja sensor mencakup kestabilan terhadap respons, dan durabilitas terhadap pencucian. Tabel 2 memperlihatkan ringkasan hasil pengujian dan karakterisasi beberapa penelitian yang telah dibahas sebelumnya.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi dan Pengujian Sampel Penelitian Sensor Elektronik Berbasis CNT^{12-14,22}

Perubahan Hambatan dan Konduktivitas Listrik	Kinerja Sensor	Durabilitas terhadap Pencucian	Referensi
<ul style="list-style-type: none"> Hambatan listrik meningkat dengan meningkatnya regangan material Konduktansi listrik meningkat dengan meningkatnya temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> Performa elektromekanik stabil, berulang, dan reversibel pada MWCNT 2 dan 3 wt%. Sensitivitas regangan MWCNT 3 wt% (1,14) lebih tinggi dibandingkan 2 wt% (0,84) Sensitivitas temperatur terhadap perubahan konsentrasi MWCNT tidak menunjukkan pengaruh yang jelas 	Tidak disebutkan	Wang, et.al. (2015)
<ul style="list-style-type: none"> Konduktansi meningkat hingga regangan 7% dan menurun pada regangan di atas 7% 	<ul style="list-style-type: none"> Sensor menunjukkan respons perubahan konduktansi saat diaplikasikan pada sistem pernafasan dan denyut nadi Konduktansi sensitif pada rentang tekanan 0,885 – 8,85 kPa 	<ul style="list-style-type: none"> Pencucian hingga 40 jam, konduktansi turun hingga 13,6% Sampel menghasilkan respons berulang hingga > 10000 siklus pada regangan 1% dan 40 jam pencucian mekanik (setara dengan 80 kali pencucian konvensional) 	Du, et. al. (2017)

Perubahan Hambatan dan Konduktivitas Listrik	Kinerja Sensor	Durabilitas terhadap Pencucian	Referensi
<ul style="list-style-type: none"> Hambatan menurun ($\sim 10^9 - 1435 \Omega/\text{sq}$) dengan meningkatnya konsentrasi CNT (0,025 – 0,1 wt%) Hambatan menurun (4211 – 439 Ω/sq) dengan meningkatnya jumlah siklus <i>dip & drying</i> (1-4 siklus) 	<ul style="list-style-type: none"> Sampel memiliki rentang <i>sensing</i> regangan yang lebar dan memiliki kinerja <i>sensing</i> yang baik pada rentang regangan yang rendah (0-10%) Hambatan stabil dan berulang (menunjukkan <i>reliable response</i>) pada regangan yang berbeda Sensor bekerja baik untuk memantau pergerakan lutut, jari, siku lengan, dan tenggorokan (vokal/fonasi) 	<ul style="list-style-type: none"> Hambatan sedikit meningkat (1,55 – 1,81 $\text{k}\Omega/\text{sq}$) pada siklus awal pencucian (1-3 kali pencucian) Jumlah pencucian mengubah konduktansi, setelah 8 kali pencucian hambatan listrik masih lebih kecil dari 2,1 $\text{k}\Omega/\text{sq}$ 	Yang, et. al. (2018)
<ul style="list-style-type: none"> Hambatan menurun dengan meningkatnya <i>load pressure</i> (rentang kerja sensor 0-1000 kPa) 	<ul style="list-style-type: none"> Perubahan hambatan sekitar 7% setelah 20000 siklus <i>loading/unloading</i> Sensor yang diaplikasikan pada <i>smart gloves</i>, menunjukkan perubahan hambatan listrik lebih tinggi ketika subjek menggenggam objek yang lebih berat. 	Perubahan hambatan relatif kecil yakni kurang dari 10% setelah 50 kali pencucian	Kim, et. al. (2020)

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2, terlihat bahwa hambatan (resistansi) maupun konduktansi listrik sangat dipengaruhi oleh metode proses fabrikasi sensor elektronik yang digunakan (diantaranya yaitu konsentrasi CNT dan jumlah perlakuan proses), serta besarnya regangan (*strain*) maupun *load pressure* terhadap material tekstil sensor. Hasil uji penelitian menunjukkan kecenderungan hambatan listrik meningkat seiring dengan meningkatnya regangan material.²² Pada penelitian lainnya, hambatan listrik terbukti menurun dengan adanya peningkatan tekanan beban (*load pressure*).¹³ Kecenderungan yang sedikit berbeda diperoleh pada studi Du, et. al. (2017), dimana nilai konduktansi dievaluasi meningkat seiring dengan meningkatnya regangan hingga 7%, namun pada regangan di atas 7%, konduktansinya menurun.¹⁴ Hal ini berkaitan dengan sensitivitas sensor yang umumnya memiliki rentang kerja tertentu dari suatu stimulan regangan atau tekanan. Semakin lebar rentang regangannya dan semakin baik kinerja *sensing* meskipun pada rentang regangan yang rendah, (diantaranya dibuktikan dengan pembacaan yang stabil pada respons berulang dan pada regangan yang berbeda), maka akan semakin potensial suatu material digunakan untuk aplikasi sensor.

Selain itu, studi lainnya menyebutkan hasil bahwa hambatan listrik semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi CNT dan jumlah siklus proses *dip and drying* pada fabrikasi sensor tekstil CNT.¹² Hal ini menunjukkan bahwa substrat tekstil semakin bersifat konduktif dengan peningkatan konsentrasi CNT dan juga proses *dip and drying* yang berulang. Peningkatan konsentrasi CNT juga meningkatkan sensitivitas nilai hambatan listrik terhadap regangan, meskipun pengaruhnya terhadap temperatur masih belum jelas. Sensor latex-MWCNT 1 wt% menunjukkan perubahan hambatan listrik yang tidak teratur ketika diaplikasikan regangan kurang dari 0,2% dan terjadi pergeseran selama uji beban. Namun pada konsentrasi lebih tinggi, yakni latex-MWCNT 2 dan 3 wt%, kinerja elektromekanik menunjukkan yang paling reversibel, berulang, dan stabil dengan nilai sensitivitas regangan pada 3 wt% lebih tinggi.²²

Hasil uji durabilitas terhadap pencucian pada studi tersebut menunjukkan kecenderungan yang sama, yakni adanya penurunan hambatan listrik dengan proses pencucian berulang, meskipun pengaruhnya beragam bergantung dari substrat dan metode fabrikasi yang digunakan. Pada penelitian Du, et. al. (2017), sampel tekstil sensor *non woven* yang dibuat dengan metode *nanosoldering* MWCNT 0,1 mg/ml dan dicuci hingga 40 jam atau setara dengan 80 kali pencucian konvensional mengalami penurunan konduktansi hingga 13,6%. Meskipun demikian, sampel masih dapat menghasilkan respons yang berulang hingga lebih dari 10000 siklus ketika diaplikasikan regangan 1%.¹⁴ Sedangkan studi yang dilakukan oleh Yang, et. al. (2018) menunjukkan bahwa sampel tekstil sensor kapas 97%-PU 3%-CNT 0,1 wt% yang dibuat dengan metode *dip and drying* mengalami peningkatan hambatan listrik cukup besar, yakni dari 1,51 menjadi 2,1 $\text{k}\Omega/\text{sq}$ (sekitar 39%) setelah dilakukan 8 kali pencucian pada sampel. Pada siklus awal pencucian, yakni 1-3 kali, peningkatan hambatan

listrik yang terjadi sekitar 3-20%.¹² Hasil uji durabilitas yang lebih baik diperoleh pada penelitian Kim, et. al. (2020), meskipun tidak disebutkan konsentrasi CNT yang digunakan, sampel tekstil sensor mengalami perubahan hambatan listrik yang relatif kecil, yakni kurang dari 10% setelah melalui 50 kali pencucian.¹³ Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode fabrikasi tekstil sensor dengan *ultrasonic nanosoldering* kain *non woven*-CNT serta impregnasi benang wol pada larutan CNT yang ditunen dengan benang PET dan elektroda, mampu menghasilkan durabilitas terhadap pencucian yang lebih baik dibandingkan metode *dip and dry* pada kain kapas-PU.

POTENSI APLIKASI METODE FABRIKASI TEKSTIL SENSOR BERBASIS CNT DI INDUSTRI TEKSTIL

Metode fabrikasi tekstil sensor yang saat ini telah berkembang umumnya menggunakan 4 jenis pendekatan, yakni menambahkan karbon atau material konduktif lain pada pembuatan serat dan benang, pelapisan (*coating*) serat, benang, ataupun kain dengan polimer atau substansi konduktif, dan juga dengan pencetakan (*printing*) menggunakan material, polimer, atau tinta konduktif.⁸ Metode fabrikasi tekstil sensor pada penelitian yang telah dibahas sebelumnya termasuk dalam kategori pelapisan (*coating*) dengan CNT sebagai material konduktif. Metode ini merupakan cara fabrikasi tekstil fungsional yang sudah sangat umum diaplikasikan di industri tekstil, khususnya pada proses penyempurnaan (*finishing*), diantaranya untuk memperoleh sifat tahan api, anti bakteri, anti ultraviolet, superhidrofobik, dan lain-lain. Hal ini menyebabkan cara pelapisan (*coating*) ini pun sangat menarik perhatian untuk fabrikasi tekstil sensor, baik yang berbasis CNT maupun material konduktif lain seperti *graphene oxide* dan polimer konduktif seperti polipirol, polianilin, *poly (3,4-ethylenedioxythiophene)* (PEDOT), dan *poly (3,4-ethylenedioxythiophene)-polystyrene sulfonate* (PEDOT:PSS). Namun demikian, cara pelapisan ini biasanya memiliki kelemahan yakni kemampuan pencucian dan juga resistansi terhadap abrasi yang rendah.⁸ Pemilihan metode fabrikasi dan substrat material tekstil yang digunakan tentunya juga sangat bergantung pada tujuan aplikasi atau pemanfaatan tekstil sensor, dengan mempertimbangkan pula sensitivitas sensor terhadap rentang nilai stimulan yang dapat diukur dan juga terhadap respons yang berulang.

KESIMPULAN

Fabrikasi tekstil sensor elektronik berbasis material konduktif *carbon nanotubes* (CNT) dengan berbagai macam material substrat tekstil terbukti mampu digunakan sebagai *wearable sensor* untuk monitoring sistem pernafasan, denyut nadi, temperatur, dan pergerakan anggota tubuh. Prinsip kerja sensor ini memanfaatkan stimulasi berupa regangan, tekanan, maupun temperatur tubuh. *Trend* penelitian fabrikasi tekstil sensor berbasis CNT dengan metode pelapisan (*coating*) material konduktif saat ini masih terus berkembang dikarenakan kesesuaian aplikasi metode ini untuk diimplementasikan di industri tekstil. Kriteria material tekstil sensor berbasis CNT yakni bersifat konduktif dan resistif yang sensitif terhadap regangan (*conductivity/resistivity sensitive to strain*), dapat dicuci, tahan terhadap pencucian (*washability & durability*), fleksibel, *stretchable*, ringan, nyaman, dan juga biaya produksi rendah. Pemilihan metode fabrikasi dan substrat material tekstil yang digunakan sangat bergantung pada tujuan aplikasi atau pemanfaatan tekstil sensor tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Shahidi, S. & Moazzenchi, B. Carbon nanotube and its applications in textile industry—A review. *J. Text. Inst.* **109**, 1653–1666 (2018).
2. Eatemadi, A. et al. Carbon nanotubes: Properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Res. Lett.* **9**, 1–13 (2014).
3. Di, J. et al. Carbon-Nanotube Fibers for Wearable Devices and Smart Textiles. *Adv. Mater.* **28**, 10529–10538 (2016).
4. Lund, A., van der Velden, N. M., Persson, N. K., Hamed, M. M. & Müller, C. Electrically conducting fibres for e-textiles: An open playground for conjugated polymers and carbon nanomaterials. *Mater. Sci. Eng. R Reports* **126**, 1–29 (2018).
5. Jang, Y., Kim, S. M., Spinks, G. M. & Kim, S. J. Carbon Nanotube Yarn for Fiber-Shaped Electrical Sensors, Actuators, and Energy Storage for Smart Systems. *Adv. Mater.* **32**, 1–14 (2020).
6. Chatterjee, K., Tabor, J. & Ghosh, T. K. Electrically conductive coatings for fiber-based E-Textiles. *Fibers* **7**, 1–45 (2019).
7. Sharma, S., Dhakate, S. R. & Singh, B. P. Carbon Nanotubes in Protective Fabrics: A Short Review. *Trends Text. Eng. Fash. Technol.* **3**, 320–322 (2018).
8. Islam, G. M. N., Ali, A. & Collie, S. Textile sensors for wearable applications: a comprehensive review. *Cellulose* **5**, (2020).
9. Filipowska, B., Wisniewski, B. & Michalak, L. Z. Creation of electro conductive paths and patterns by screen printing on textile bases. *Text Res J* **88**, 261–274 (2016).

10. Cai, G. *et al.* Flexible and wearable strain sensing fabrics. *Chem Eng J* **325**, 396–403 (2017).
 11. Souri, H. & Bhattacharyya, D. Highly stretchable multifunctional wearable devices based on conductive cotton and wool fabrics. *ACS Appl Mater Interfaces* **10**, 20845–20853 (2018).
 12. Yang, M. *et al.* Conductive cotton fabrics for motion sensing and heating applications. *Polymers (Basel)*. **10**, 23–32 (2018).
 13. Kim, G., Vu, C. C. & Kim, J. Single-layer pressure textile sensors with woven conductive yarn circuit. *Appl. Sci.* **10**, (2020).
 14. Du, D., Tang, Z. & Ouyang, J. Highly washable e-textile prepared by ultrasonic nanosoldering of carbon nanotubes onto polymer fibers. *J. Mater. Chem. C* **6**, 883–889 (2018).
 15. Ebrahimbeiki Chimeh, A., Montazer, M. & Rashidi, A. Conductive and photoactive properties of polyethylene terephthalate fabrics treated with nano TiO₂/nano carbon blacks. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Mater.* **28**, 313–320 (2013).
 16. Lin, J. H. *et al.* Manufacturing techniques and property evaluations of conductive composite yarns coated with polypropylene and multi-walled carbon nanotubes. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **84**, 354–363 (2016).
 17. Lin, Z. I. *et al.* Conductive fabrics made of polypropylene/multi-walled carbon nanotube coated polyester yarns: Mechanical properties and electromagnetic interference shielding effectiveness. *Compos. Sci. Technol.* **141**, 74–82 (2017).
 18. Rahman, M. J. & Mieno, T. Conductive Cotton Textile from Safely Functionalized Carbon Nanotubes. *J. Nanomater.* **2015**, (2015).
 19. Nafeie, N., Montazer, M., Nejad, N. H. & Harifi, T. Electrical conductivity of different carbon nanotubes on wool fabric: An investigation on the effects of different dispersing agents and pretreatments. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* **497**, 81–89 (2016).
 20. Lee, T. W., Han, M. J., Lee, S. E. & Jeong, Y. G. Electrically conductive and strong cellulose-based composite fibers reinforced with multiwalled carbon nanotube containing multiple hydrogen bonding moiety. *Compos. Sci. Technol.* **123**, 57–64 (2016).
 21. Bautista-Quijano, J. R., Pötschke, P., Brünig, H. & Heinrich, G. Strain sensing, electrical and mechanical properties of polycarbonate/multiwall carbon nanotube monofilament fibers fabricated by melt spinning. *Polymer (Guildf)*. **82**, 181–189 (2016).
 22. Wang, L., Loh, K. J. & Koo, H. S. Wearable carbon nanotube fabric sensors for strain and temperature monitoring. *Int. Conf. Adv. Exp. Struct. Eng.* **2015–August**, 7–9 (2015).
-

