



Kontribusi FMIPA UNSOED dalam Matematika, Sains dan Kearifan Lokal

**Disusun dalam Rangka Peringatan Dies Natalis ke-5
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jenderal Soedirman
24 Oktober 2019**

**Jamrud Aminuddin, S.Si., M.Si., Ph.D,
Drs. Budi Pratikno, M.Stat.Sci., Ph.D.
Sehah, S.Si., M.Si.
Agus Sugandha, M.Si.
Dr. Ponco Iswanto
Dr.rer.nat Ria Armunanto
Prof. Dr.rer.nat Harno Dwi Pranowo
Agung Prabowo, S.Si., M.Si.**

Kontribusi FMIPA UNSOED dalam Matematika, Sains dan Kearifan Lokal

**Disusun dalam Rangka Peringatan Dies Natalis ke-5
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jenderal Soedirman
24 Oktober 2019**

**Jamrud Aminuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.
Drs. Budi Pratikno, M.Stat.Sci., Ph.D.
Sehah, S.Si., M.Si.
Agus Sugandha, M.Si.
Dr. Ponco Iswanto
Dr.rer.nat Ria Armunanto
Prof. Dr.rer.nat Harno Dwi Pranowo
Agung Prabowo, S.Si., M.Si.**



**Penerbit
Universitas Jenderal Soedirman
2019**

**Kontribusi FMIPA UNSOED dalam Matematika,
Sains dan Kearifan Lokal**

© 2019 Universitas Jenderal Soedirman

Cetakan Kesatu, Oktober 2019
Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

Penulis:

Jamrud Aminuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.
Drs. Budi Pratikno, M.Stat.Sci., Ph.D.
Sehah, S.Si., M.Si.
Agus Sugandha, M.Si.
Dr. Ponco Iswanto
Dr.rer.nat Ria Armunanto
Prof. Dr.rer.nat Harno Dwi Pranowo
Agung Prabowo, S.Si., M.Si.

Penyelaras Bahasa :

Drs. Bambang Widodo, M.Par.

Penelaah Isi :

Drs. Sunardi, M. Si. (Dekan FMIPA UNSOED)

Diterbitkan oleh:

UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Gd. BPU Percetakan dan Penerbitan (UNSOED Press)
Telp. (0281) 626070
Email: unsoedpress@unsoed.ac.id



Anggota
Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia
Nomor : 003.027.1.03.2018

xi + 129 hal., 15,5 x 23 cm

ISBN : 978-623-7144-38-0

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit,
sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak,
photoprint, microfilm dan sebagainya.*

PENGANTAR DEKAN FMIPA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Alloh SWT. yang dengan kehendak-Nya maka buku ini dapat terwujud. Untuk ketiga kalinya, peringatan Dies Natalis ke-5 FMIPA Unsoed dimeriahkan dengan penerbitan sebuah buku. Buku yang mengusung judul “*Kontribusi FMIPA UNSOED dalam Matematika, Sains dan Kearifan Lokal*” merupakan karya para dosen pada tiga jurusan yang ada di FMIPA Unsoed yaitu Kimia, Matematika dan Fisika. Buku ini dipersembahkan sebagai kado untuk Dies Natalis ke-5 FMIPA Unsoed pada 24 Oktober 2019.

Buku ini memuat enam buah tulisan yang disusun oleh seorang dosen Kimia, tiga orang dosen Matematika dan dua orang dosen Fisika. Pada kesempatan kali ini, ikut serta menulis dua orang peneliti di luar Universitas Jenderal Soedirman, yaitu dari *Austrian-Indonesian Centre for Computational Chemistry* (AIC), Jurusan Kimia, Universitas Gadjah Mada.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor Universitas Jenderal Soedirman Prof. Dr. Suwanto, M.S., Dekan FMIPA Unsoed, yakni Bapak Drs. Sunardi, M.Si., dan Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni FMIPA Unsoed, yakni Bapak Roy Andreas, Ph.D. yang telah mendorong, memberi dukungan dan merestui penyusunan buku ini sehingga dapat diterbitkan bertepatan dengan peringatan Dies Natalis ke-5 FMIPA Unsoed. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Penerbit Unsoed Press yang atas bantuannya buku ini dapat terbit dengan kemewahan nan elegan. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para penulis atas kontribusinya dalam menghasilkan rangkaian tulisan sehingga mewujud dalam satu buku.

Buku ini merupakan suatu karya akademik yang pengerjaannya telah memberikan pengalaman luar biasa khususnya bagi para penulisnya. Pengalaman ini tentu akan menjadi bekal dan pendorong untuk mewujudkan karya-karya akademik lainnya di tahun-tahun mendatang.

Perlu kami sampaikan bahwasannya artikel yang ada dalam buku ini tidak disyaratkan harus orisinal atau baru dan asli. Hal ini dilakukan agar cukup banyak penulis yang bersedia menyumbangkan artikelnya dalam buku ini. Tentu saja kita menyadari bahwa artikel yang benar-benar mengandung orisinalitas ide, gagasan dan temuan akan dipublikasikan oleh penulisnya pada jurnal bergengsi terindeks Scopus. Namun, demikian,

buku ini tetap tidak kehilangan sisi ilmiahnya. Di sisi lain, buku ini telah melalui penelaahan isi dan bahasa oleh dua orang *reviewer*, dan sebagai suatu buku maka buku ini dapat dikategorikan sebagai buku ilmiah populer.

Beberapa jenis artikel yang dimuat dalam buku ini antara lain artikel hasil penelitian yang mengawetkan orisinalitas; artikel hasil pengabdian dengan mengusung keaslian dan kebaruan ide dan gagasan; artikel yang merupakan kombinasi dari artikel-artikel yang telah dipublikasikan pada jurnal ilmiah bereputasi internasional atau nasional; artikel sebagai kombinasi dari hasil-hasil tugas akhir mahasiswa yang satu tema (kajian); artikel sebagai kombinasi dari hasil-hasil laporan kerja praktik mahasiswa yang satu tema (kajian); dan jenis lainnya.

Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, masukan dari para pembaca sangat kami harapkan untuk perbaikan buku ini dan penyusunan buku sejenis pada tahun-tahun mendatang.

Purwokerto, 24 Oktober 2019
Dekan FMIPA Unsoed

Drs. Sunardi, M. Si.
NIP. 19590715 199002 1 001

DAFTAR ISI

	Halaman
Pengantar Dekan FMIPA	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
Klasifikasi Jenis Awan Menggunakan <i>Split Window Algorithm</i> Berdasarkan Data Satelit <i>Himawari-8</i>	
<i>Jamrud Aminuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.</i>	1
<i>Best Subset Regression</i> dan Aplikasinya	
<i>Drs. Budi Pratikno, M.Stat.Sci., Ph.D.</i>	17
Investigasi Potensi Pasir Besi di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap dan Dampak Eksploitasinya Berdasarkan Data Anomali Magnetik	
<i>Sehah, S.Si., M.Si.</i>	25
Selayang Pandang Persamaan <i>Diophantine Nonlinear Eksponensial</i>	
<i>Agus Sugandha, M.Si.</i>	55
Potensial Pasangan Rhodium(III)-Air Berdasarkan Metode Perhitungan <i>Ab Initio</i>	
<i>Dr. Ponco Iswanto, Dr.rer.nat. Ria Armunanto' dan Prof. Dr.rer.nat. Harno Dwi Pranowo</i>	67
Eksplorasi Matematika dalam Ranah Budaya Jawa	
<i>Agung Prabowo, S.Si., M.Si.</i>	80
Biografi Singkat Penulis	125

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Klasifikasi Jenis Awan Menggunakan <i>Split Window Algorithm</i> Berdasarkan Data Satelit <i>Himawari-8</i>	
Gambar 1. Sketsa Lapisan Atmosfir Bumi.....	3
Gambar 2. Skema Tipe Awan	7
Gambar 3. Program Peluncuran dan Operasional Satelit <i>Himawari</i> 1 sampai 7	8
Gambar 4. Program dan Peluncuran <i>Himawari-8/9</i>	8
Gambar 5. Area dan Frekuensi Observasi Satelit <i>Himawari-8</i> ...	9
Gambar 6. Proses Sistem Transmisi Ddn Pengolahan Produk Satelit Cuaca <i>Himawari-8</i>	11
Gambar 7. Pengelompokan Jenis Awan Berdasarkan Metode <i>Split Window Algorithm</i>	12
Gambar 8. Matriks BT dan LTD untuk Mengklasifikasikan Jenis Awan	13
Gambar 9. Hasil Klasifikasi Jenis Awan Berdasarkan LTD untuk <i>Band</i> 13 dan 15	14
Gambar 10. Hasil Klasifikasi Jenis Awan Berdasarkan LTD untuk <i>Band</i> 15 dan 16	14
 <i>Best Subset Regression</i> dan Aplikasinya	
Gambar 1. <i>Output Best Subset Model</i>	21
 Investigasi Potensi Pasir Besi di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap dan Dampak Eksploitasinya Berdasarkan Data Anomali Magnetik	
Gambar 1. Salah Satu Lokasi Penambangan Pasir Besi di Pesisir Cilacap oleh PT Aneka Tambang Tbk	27
Gambar 2. Anomali Magnetik dari Batuan atau Benda Anomali Bawah Permukaan Bumi	30
Gambar 3. Skema Perkiraan Terbentuknya Endapan Pasir Besi di Kawasan Pesisir dan Pantai yang Kaya Mineral Bijih Besi	31

Gambar 4.	Peralatan Utama yang Digunakan dalam Akuisisi Data Magnetik; <i>Proton Precession Magnetometers</i> (PPM) tipe GSM-19T dari GEM System dan <i>Global Positioning System</i> (GPS) merk Garmin	32
Gambar 5.	Lokasi Akuisisi Data Pada Survei Magnetik; Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap Bagian Timur.....	34
Gambar 6.	Desain Survei Magnetik Salah Satu Kawasan di Pesisir Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap; Akuisisi Data Dilakukan Sesuai Titik-Titik Lokasi yang Telah Ditentukan Menggunakan Aplikasi <i>Google Earth</i>	35
Gambar 7.	Peta Lokasi Penelitian di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap	38
Gambar 8.	Peta Kontur Anomali Magnetik Total yang Masih Terdistribusi pada Permukaan Topografi: (a) Pesisir Binangun 1, (b) Pesisir Binangun 2, (c) Pesisir Binangun 3, (d) Pesisir Nusawungu 1, dan (e) Pesisir Nusawungu 2	40
Gambar 9.	Peta Kontur Anomali Magnetik Total yang Telah Terdistribusi pada Bidang Datar untuk Masing-Masing Daerah Penelitian	41
Gambar 10.	Peta Kontur Anomali Magnetik Regional untuk Masing-Masing Daerah Penelitian	42
Gambar 11.	Peta Kontur Anomali Magnetik Lokal untuk Masing-Masing Daerah Penelitian	43
Gambar 12.	Kegiatan Eksploitasi dan Instalasi Pemisahan Pasir Besi yang Pernah Beroperasi di Kawasan Pesisir Binangun	46
Gambar 13.	Peta Kontur Anomali Magnetik Lokal Daerah Penelitian yang Di- <i>overlay</i> dengan Peta Geografis Dari <i>Google Earth</i> dan Butiran-Butiran Pasir Besi yang Tampak di Permukaan Daerah Penelitian	47
Gambar 14.	Salah Satu Penampang Resistivitas 2D Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Pesisir Barat Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap	48

Gambar 15. Salah Satu Penampang Resistivitas 2D Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Pesisir Timur Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap	49
Gambar 16. Peristiwa Abrasi Endapan <i>Alluvium</i> di Kawasan Pesisir Nusawungu Bagian Barat yang Kaya Akan Pasir Besi	50

Selayang Pandang Persamaan *Diophantine Nonlinear Eksponensial*

Gambar 1. Prof. Andrew Wiles, Profesor Matematika Universitas Princeton Inggris	60
---	----

Potensial Pasangan Rhodium(III)-Air Berdasarkan Metode Perhitungan *Ab Initio*

Gambar 1. Model Kompleks 1 Ion Rh^{3+} (Bola Biru) dan 1 H_2O (Bola Merah-Putih) untuk Perhitungan Energi Interaksi 2-Badan	71
Gambar 2. Orientasi Ion Rh^{3+} terhadap Molekul H_2O . Titik-Titik Energi Dihitung Berdasarkan Variasi Nilai r , θ dan φ	72
Gambar 3. Salah Satu Kurva yang Menandakan Adanya Eek Transfer Muatan pada Himpunan Basis LANL2DZ ECP (A). Kurva Himpunan Basis SBKJC VDZ ECP yang Mendekati Kurva Potensial Lennard-Jones	74
Gambar 4. Kurva dan Persamaan Potensial Lennard-Jones 12-6. Nilai ε adalah Potensial (V) Paling Minimum yang Terjadi pada Jarak (R) Sebesar R_m . Nilai $V = 0$ Terjadi pada Jarak Sebesar	76
Gambar 5. Kurva Aplikasi Himpunan Basis SBKJC VDZ ECP Termodifikasi (ion Rh^{3+}) dan DZP Dunning (H_2O), Data Perhitungan Energi SCF (Titik-Titik) dan Hasil <i>Fitting</i> (Garis Penuh)	76

Eksplorasi Matematika dalam Ranah Budaya Jawa

Gambar 1. Cara Pembacaan Angka Tahun pada <i>Sengkala Lamba</i>	84
Gambar 2. Angka Kuadrat Kediri Menyatakan Tahun 1361 Saka	87
Gambar 3. Bentuk Angka Kuadrat Kediri	88

Gambar 4.	Angka Tahun pada <i>Sengkala Lamba Gapura Bhuta Mangan Wong</i>	89
Gambar 5.	<i>Sengkala Memet A</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Gapura Bhuta Mangan Wong</i> (1359 S/1437 M)	89
Gambar 6.	<i>Sengkala Memet B</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Gapura Bhuta Mangan Wong</i> (1359 S/1437 M)	89
Gambar 7.	<i>Sengkala Memet</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Buntut Naga Sinahut Kaga</i> (1381 S/1459 M)	90
Gambar 8.	<i>Sengkala Memet</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Wiwara Wiyasa Anahut Jalu</i> (1359 S/1437 M)	90
Gambar 9.	<i>Sengkala Memet C</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Gapura Bhuta Anahut Buntut</i> (1359 S/1437 M)	91
Gambar 10.	<i>Sengkala Memet D</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Gapura Bhuta Anahut Buntut</i> (1359 S/1437 M)	91
Gambar 11.	<i>Sengkala Memet</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Gajah Wiku Anahut Buntut</i> (1378 S/1456 M)	92
Gambar 12.	<i>Sengkala Memet</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Suta Bhuta Anahut Buntut</i> (1361 S/1438 M) dan Angka Kuadrat Kediri 1363 S/1440 M	93
Gambar 13.	Mata Uang <i>Sengkala Memet</i> dengan Pembacaan <i>Sengkala Lamba Naga Obah Wisaya Janma</i> (1568 J)	94
Gambar 14.	Suasana Idul Fitri Masyarakat <i>Aboge</i> di Desa Cikakak, Kecamatan Wangon, Banyumas	95
Gambar 15.	Urutan hari-hari (<i>jejem</i>) dalam siklus tujuh harian dan lima harian pada Kalender <i>Aboge</i>	96
Gambar 16.	Mbah Sukemi dan Sandi Tahun dalam Kalender <i>Aboge</i>	97
Gambar 17.	Valensi untuk Bulan, Tahun dan Abad dalam Kalender Masehi	101
Gambar 18.	Valensi untuk <i>Selapanan</i> (Siklus 35 Hari)	102
Gambar 19.	Logo UNS dengan <i>Sengkala Lamba Mangesthi Luhur Ambangun Nagara</i>	105
Gambar 20.	<i>Sengkala Memet</i> dan <i>Sengkala Lamba</i> pada Pelaksanaan <i>Sekaten</i> di Keraton Yogyakarta Tahun 2017 Masehi	106
Gambar 21.	<i>Sengkala Lamba SENAMANTRA 2016</i> dan <i>SENAMANTRA 2018</i>	107

Gambar 22. Logo Universitas Jenderal Soedirman	108
Gambar 23. <i>Sengkala Lamba</i> pada Majalah Berbahasa Sunda, <i>Mangle: Sukaning Indriya Gapuraning Rahayu</i>	110
Gambar 24. PUSLIT Etnomatematika dan Jurnal EMAS	118
Gambar 25. <i>Sujanma Agung Kusumaning Praja: 1971 Masehi</i> ...	119

DAFTAR TABEL

	Halaman
Klasifikasi Jenis Awan Menggunakan <i>Split Window Algorithm</i> Berdasarkan Data Satelit <i>Himawari-8</i>	
Tabel 1. Daftar Kanal, Panjang Gelombang, Resolusi Spasial dan Spesifikasi Satelit <i>Himawari-8</i>	10
<i>Best Subset Regression</i> dan Aplikasinya	
Tabel 1. <i>Output Best Subset Model</i>	21
Investigasi Potensi Pasir Besi di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap dan Dampak Eksploitasinya Berdasarkan Data Anomali Magnetik	
Tabel 1. Peralatan Penelitian yang Digunakan dalam Survei Magnetik	33
Tabel 2. Posisi Geografis Setiap Lokasi di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap	38
Tabel 3. Estimasi Potensi Pasir Besi di Seluruh Daerah Penelitian Berdasarkan Data Anomali Magnetik Lokal	45
Eksplorasi Matematika dalam Ranah Budaya Jawa	
Tabel 1. <i>Neptu Hari Saptawara</i> dan <i>Hari Pancawara</i>	111
Tabel 2. Sisa dari <i>Neptu Weton</i> untuk Prediksi Perkawinan dan Maknanya	113
Tabel 3. Sisa dari <i>Neptu Weton</i> untuk Prediksi Cocok Tanam dan Maknanya	116
Tabel 4. Penentuan Hari Baik untuk Bercocok Tanam di Komunitas Agraris Cigugur	117

KLASIFIKASI JENIS AWAN MENGGUNAKAN *SPLIT WINDOW ALGORITHM* BERDASARKAN DATA SATELIT *HIMAWARI-8*

Jamrud Aminuddin

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno 61 Karangwangkal Purwokerto, Jawa Tengah, 53123
email: jamrud_uh96@yahoo.com

Abstrak. Dalam tulisan ini dibahas tentang metode mengklasifikasikan jenis awan di atmosfer dengan menggunakan *split window algorithm* (SWA) berdasarkan data Satelit *Himawari-8*. Area yang dijadikan sampel adalah Jepang dan sekitarnya. Pembahasan dimulai dari pengenalan secara umum tentang lapisan atmosfer bumi, dilanjutkan dengan pembahasan tentang proses pembentukan awan dan klasifikasi jenis awan. Sebagai alat untuk observasi, dalam tulisan ini juga dibahas tentang perkembangan dan operasional Satelit *Himawari*. Metode SWA diimplementasikan dengan cara membandingkan antara pasangan band 13-15 (SWA13-15, 10 and 12 μm) dengan band 15-16 (SWA15-16, 12 and 13 μm). Kedua pasangan kanal efektif dalam mendeteksi tipe awan *dense cirrus*. Jenis awan *cumulus* lebih efektif dideteksi dengan SWA13-15 sedangkan awan *high cumulonimbus* lebih efektif dideteksi dengan SWA 15-16.

Kata kunci: SWA, *Himawari-8*, awan, atmosfer.

Abstract. In this writing is described about a method in cloud classification in atmosphere by means of *split window algorithm* (SWA) based on *Himawari-8* satellite data. The area of interest is Japan and around. Explanation is started from general information about atmospheric layer, then the process of cloud formation and its classification. As an instrument for observing the cloud, in this writing, is also explained about *Himawari-8* satellite development and operational system. The SWA method is implemented by comparing between the pair of bands 13-15 (SWA 13-15, 10 and 12 μm) and bands 15-16 (SWA 15-16, 12 and 13 μm). Both pair of channels are effective in detecting of *dense cirrus*. The *cumulus* type is

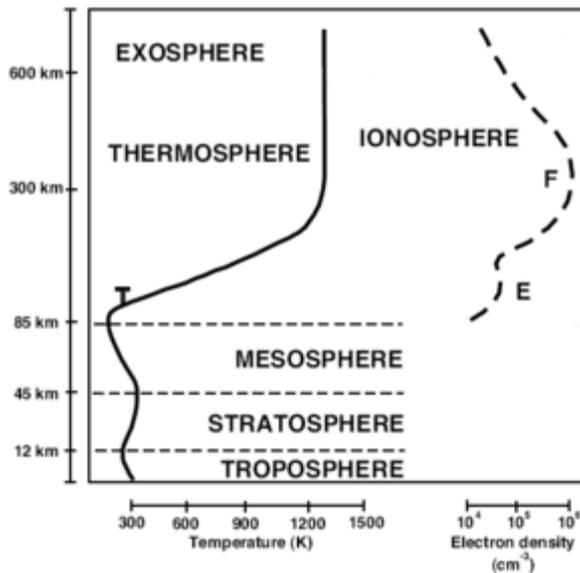
effectively detected by SWA 13-15 while the high cumulonimbus is by SWA 15-16.

Keywords: *SWA, Himawari-8, cloud, atmosphere.*

1. PENDAHULUAN

Sebelum pembahasan mengenai klasifikasi jenis awan, terlebih dahulu akan diuraikan secara umum lapisan dan karakteristik atmosfer sebagai wadah bertumbuhnya awan. Atmosfer terdiri atas bermacam gas yang sangat berguna bagi makhluk hidup. Akibat gravitasi bumi, semakin dekat ke permukaan bumi, lapisan gas dalam atmosfer semakin padat dan semakin ke atas, volume gas-gas berangsur-angsur semakin berkurang dan renggang. Fenomena tersebut mengakibatkan visibiliti di area atmosfer yang terdekat dengan permukaan sangat rendah (Saha, 2008; Andrews, 2010). Dalam kajian ilmiah yang lain, partikel aerosol terakumulasi pada lapisan antara 0 sampai 2 km dari permukaan bumi (Dionisi *et al.*, 2018; Aminuddin *et al.*, 2018). Fenomena ini menyebabkan seorang pendaki gunung setelah mencapai puncak gunung dengan ketinggian lebih dari 2 km, mampu melihat gunung lainnya dari posisi yang sangat jauh karena tingginya visibility pada lapisan tersebut.

Berdasarkan penelitian para ahli, secara vertikal lapisan atmosfer memiliki ketebalan sekitar 1.000 km. Atmosfer terdiri dari 5 (lima) lapisan yang memiliki fungsi dan karakteristik yang berbeda, yaitu troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer dan eksosfer. Secara skematik, lapisan atmosfer bumi diperlihatkan pada Gambar 1 (Pawitan, 1989).



Gambar 1. Sketsa Lapisan Atmosfir Bumi

Lapisan pertama adalah lapisan atmosfer paling bawah yang lazim dikenal dengan lapisan troposfir. Ketinggian lapisan troposfir secara umum berkisar 12 km, tetapi bervariasi berdasarkan posisinya di permukaan bumi. Tinggian lapisan troposfer di daerah ekuator mencapai mencapai 16-18 km, di daerah lintang sedang kurang lebih 11 km, sedangkan di daerah kutub hanya mencapai 8-9 km. Pada lapisan ini sirkulasi dan turbulensi seluruh bahan atmosfer terjadi, sehingga lapisan ini menjadi satu-satunya lapisan yang mengalami berbagai perubahan cuaca seperti awan, hujan, angin, presipitasi, badai, tornado, petir dan berbagai proses lainnya.

Lapisan kedua dari atmosfer di atas troposfer adalah stratosfer dengan ketinggian antara 12 km sampai dengan 50 km. Pesawat komersial biasa terbang di bagian bawah lapisan stratosfer ini karena di bagian ini lebih sedikit terjadi turbulensi sehingga penerbangan lebih nyaman. Stratosfer merupakan satu-satunya lapisan yang mengandung ozon (O_3). Volume gas

ozon relatif kecil, namun berperan sangat besar untuk melindungi bumi dari radiasi ultraviolet yang berlebihan. Lapisan ozonosfer yang memiliki temperatur yang berubah-ubah antara -50°C dan 50°C .

Lapisan ketiga dari atmosfer bumi adalah mesosfir. Lapisan ini berada pada ketinggian antara 50 km sampai 80 km. Pada lapisan ini sebagian besar meteor terbakar dan terurai, sehingga permukaan bumi terlindungi dari ancaman benda-benda angkasa. Temperatur pada lapisan mesosfir menurun $0,6^{\circ}\text{C}$ setiap pertambahan ketinggian 100 meter hingga maksimal -83°C .

Lapisan keempat dari atmosfer bumi adalah termosfer atau sangat populer dengan nama lapisan ionosfir. Pada lapisan ini banyak ditempatkan satelit penginderaan jauh dan telekomunikasi. Ionosfer merupakan lapisan tempat terjadinya ionisasi atom-atom udara oleh radiasi sinar X dan sinar ultraviolet yang dipancarkan oleh radiasi sinar matahari. Lapisan ini berada pada ketinggian 80 km hingga 400 km. Suhu udara pada lapisan ini dapat mencapai 1.700°C . Lapisan ini merupakan lapisan yang panas sehingga disebut juga sebagai lapisan termosfer. Peningkatan suhu yang sangat tinggi ini terjadi karena terjadi penyerapan radiasi sinar X dan ultraviolet yang dipancarkan oleh matahari. Lapisan ionosfer berperan penting dalam bidang komunikasi. Hal ini karena lapisan ionosfer mampu memantulkan gelombang radio, sehingga pemancar radio yang terletak jauh di daerah lain sekalipun mampu menerima gelombang radio tersebut.

Lapisan kelima dari atmosfer bumi atau yang terluar adalah lapisan eksosfer. Pengaruh gaya gravitasi pada lapisan ini sangat kecil sehingga benturan-benturan di udara jarang terjadi. Lapisan ini berada diantara ketinggian 400 km dan 1.000 km di atas permukaan laut. Pada lapisan ini meteor mulai berinteraksi dengan susunan gas dalam atmosfer. Lapisan ini

disebut juga lapisan pemisah antara bumi dengan angkasa luar sehingga disebut juga geostasioner atau ruang antar planet (Andrews, 2010).

2. PEMBAHASAN

2.1 Proses Pembentukan awan

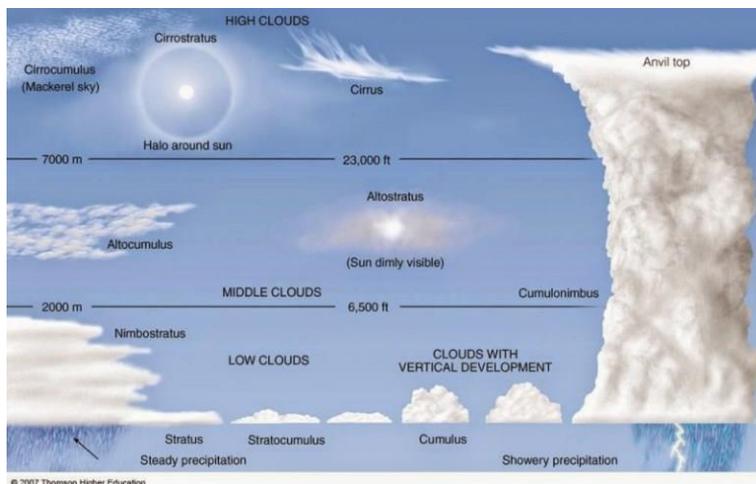
Pembentukan awan terjadi melalui proses kondensasi (*nuclei*) di atmosfer, dimana uap air berubah menjadi air (larutan). Kondensasi terjadi setelah uap air tersebut mengalami proses pendinginan. Selama proses pendinginan akan dilepaskan panas laten yang dikandung oleh uap air ke udara dan sekitarnya. Panas laten tersebut merupakan penyumbang energi ke atmosfer yang cukup besar. Awan dapat terbentuk jika terjadi kondensasi uap air di atas permukaan bumi. Udara yang mengalami kenaikan akan mengembang secara adiabatik karena tekanan udara di atas lebih kecil daripada tekanan di bawah. Partikel-partikel yang disebut dengan aerosol inilah yang berfungsi sebagai perangkap air dan selanjutnya akan membentuk titik-titik air. Selanjutnya aerosol ini terangkat ke atmosfer, dan bila sejumlah besar udara terangkat ke lapisan yang lebih tinggi, maka ia akan mengalami pendinginan dan selanjutnya mengembun. Kumpulan titik-titik air hasil dari uap air dalam udara yang mengembun inilah yang terlihat sebagai awan. Makin banyak udara yang mengembun, makin besar awan yang terbentuk (Andrews, 2010; Pawitan, 1989; Purbantoro *et al.*, 2018).

2.2 Tipe awan

Awan dapat digolongkan berdasarkan bentuk, ketinggian dari permukaan bumi, corak warna dan warna awan yang diperlihatkan pada gambar 2. Pada tahap awal perkembangan sains atmosfer, secara umum awan dikelompokkan atas empat kelompok, yaitu:

1. Kelompok *Cirrus* (Ci), *Cirrocumulus*, dan *Cirrostratus*. Menurut letaknya awan *Cirrus* adalah jenis awan tertinggi, *Cirrocumulus* jenis awan sedang, dan *Cirrostratus* jenis rendah.
 - a) Awan *cirrus* adalah awan yang menyerupai bulu ayam yang halus dan tipis serta warnanya putih. Strukturnya tersusun seperti serat-serat halus dan nampak seperti benang sutera putih. Biasanya jenis awan ini nampak pada kondisi langit cerah (biru).
 - b) Awan *cirrocumulus* (Cc) berada pada ketinggian 7.500 - 9.000 m dpl. Himpunannya menyerupai gumpalan bulu domba berwarna putih dan himpunan tersebut dinamakan *massa globuler*.
 - c) Awan *cirrostratus* (Cs) berada pada ketinggian 6.000 - 7.500 m dpl. Himpunan Cs adalah lapisan awan yang putih dan tipis, namun jika berada di udara nampaknya seperti susu.
2. Kelompok *Alto cumulus* dan *Altostratus*. Awan jenis seperti ini tergolong awan menengah (*middle clouds*) yang tingginya 3.000 - 6.000 m dpl.
 - a) Awan *Alto cumulus* (Ac) tingginya antara 4.000 m dpl merupakan gumpalan awan yang menyerupai bulu domba merino yang tebal, namun warnanya seragam (*uniform*) berwarna kelabu hingga kelabu kebir-biruan.
 - b) Awan *Altostratus* (As) tingginya antara 3.000 - 4.000 m dpl. Awan tipe ini menyerupai cadar yang rapat dan berwarna kelabu yang merupakan *globuler* horisontal dan sering membentuk bayangan.
3. Kelompok *Stratocumulus*, *Nimbostratus*, dan *Stratus*, merupakan kelompok awan rendah (*low clouds*), yang terbentuk di dekat permukaan bumi hingga ketinggian 3.000 m.
 - a) *Stratocumulus* (Sc), adalah awan bertumpuk (cumulus), berlapis (stratus) sehingga membentuk gumpalan.

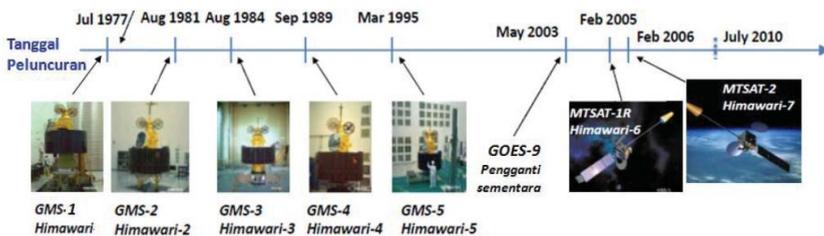
- b) *Nimbostratus* (Ns) terletak antara ketinggian 1.200 - 1.500 m dpl. Merupakan awan dengan jenis globuler tebal dan luas arah horisontal.
- c) Awan *Stratus* (St), warnanya serba sama namun berlapis (stratus). Awan jenis ini merupakan awan terendah dengan ketinggian antara 300 - 750 m dpl.
4. Kelompok *Cumulus* dan *Cumulonimbus*, merupakan kumpulan tipe awan yang khas karena terbentuk oleh proses adiabatik massa udara yang naik tegak dalam troposfer.
- a) *Cumulus* (Cu), adalah tipe awan bertumpuk (cumulus) yang terletak pada ketinggian 450 – 900 m dpl. Merupakan awan yang terbentuk dari massa udara yang naik secara menegak (vertikal) kemudian mengembun menjadi awan .
- b) *Cumulonimbus* (Cb) merupakan tipe awan raksasa yang berkembang secara vertikal. Kadangkala terus menjulang mencapai puncaknya yang menyerupai gunung disertai oleh bentuk landasan besi.



Gambar 2. Skema Tipe Awan (Robert and Houze, 1993)

2.3 Satelit *Himawari* AHI-8

Satelit *Himawari*-8 adalah sebuah satelit cuaca yang dioperasikan oleh JMA (*Japan Meteorological Agency*)-Badan Meteorologi Jepang. Satelit *Himawari* merupakan *Geostationary Meteorology Satellite* (GMS) yang merupakan generasi baru dari satelit MTSAT (*Multi-Functional Transportation Satellite*). Pada Gambar 3 diperlihatkan program peluncuran satelit sampai *Himawari* 1 sampai 7. *Himawari*-8 diluncurkan pada Oktober 2014 dan mulai beroperasi pada pertengahan 2015. Posisi *Himawari* berada pada 140° BT untuk memantau kawasan bagian timur Asia dan barat Pasifik. Satelit *Himawari* dilengkapi sensor bernama *Advanced Himawari Imager* (AHI), yang memiliki resolusi temporal, spektral dan spasialnya lebih baik dibandingkan seri sebelumnya (Kushardono, 2012; Bessho, *et al.*, 2015).



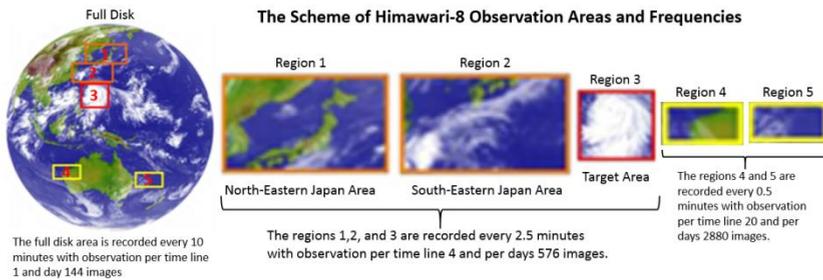
Gambar 3. Program Peluncuran dan Operasional Satelit *Himawari* 1 sampai 7

Tahun	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
Himawari-8																						
Himawari-9																						

The table is a Gantt-style chart showing the operational status of Himawari-8 and Himawari-9 from 2009 to 2029.

- Himawari-8:** Shows 'Pembuatan' (Construction) from 2009 to 2014, 'Peluncuran' (Launch) in 2014, 'Operasional' (Operational) from 2015 to 2029, and 'Menunggu di orbit' (Waiting in orbit) from 2015 to 2029.
- Himawari-9:** Shows 'Peluncuran' (Launch) in 2014, 'Menunggu di orbit' (Waiting in orbit) from 2015 to 2024, and 'Operasional' (Operational) from 2025 to 2029.

Gambar 4. Program dan Peluncuran *Himawari*-8/9



Gambar 5. Area dan Frekuensi Observasi Satelit *Himawari-8*.

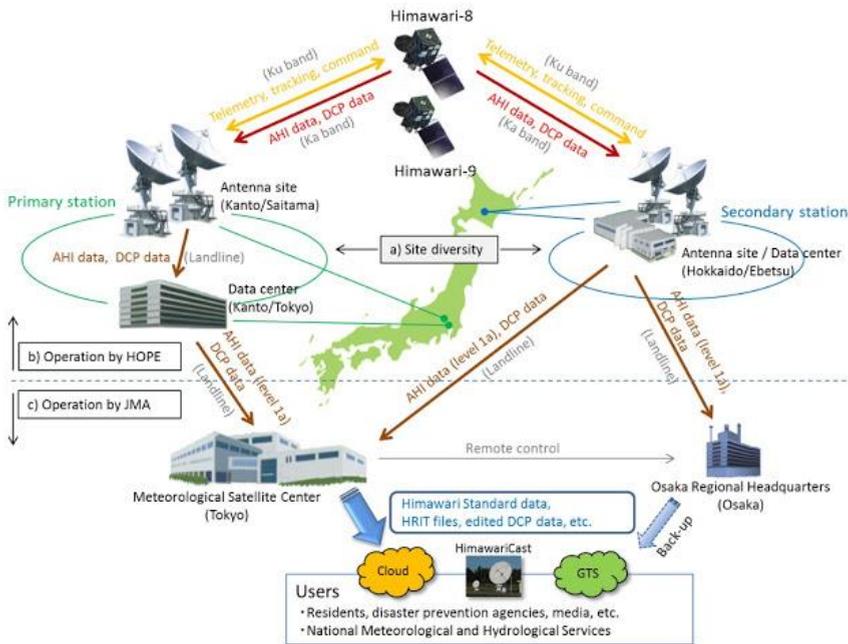
Kanal yang dimiliki satelit *Himawari-8* adalah 16 kanal yang terdiri dari 3 kanal visibel, 3 kanal infra merah-dekat atau *near infrared* (NIR) dan 10 kanal Infrared (IR). Satelit *Himawari* memiliki resolusi spasial 0,5 km dan 1 km untuk kanal cahaya tampak (visibel), 2 km untuk data kanal IR serta 1 km dan 2 km untuk data kanal NIR. Adapun resolusi temporal, *Himawari-8* memiliki resolusi tiap 10 menit untuk pengamatan global dan 2,5 menit sekali untuk pengamatan khusus. Pada gambar 5 diperlihatkan area dan frekuensi observasi satelit *Himawari-8*. *Full area* direkam setiap 10 menit, area 1, 2, 3 direkam setiap 2,5 menit, and area 5,6 direkam setiap 0,5 menit. Kelebihan lain Satelit *Himawari-8* dengan kanalnya yang sangat banyak, maka kita dapat memanfaatkannya untuk membuat produk RGB (*red-green-blue*) dengan mengkombinasikan beberapa kanal. Pada Tabel 1 diperlihatkan nomor kanal beserta spesifikasinya untuk Satelit *Himawari-8*.

Tabel 1. Daftar Kanal, Panjang Gelombang, Resolusi Spasial dan Spesifikasi Satelit

Himawari-8

<i>Channel</i>	<i>Central Wavelength</i> [nm]	<i>Spatial Resolution</i> [km]	<i>Legend</i>
1	430 - 480	1	<i>Blue</i>
2	500 - 520	1	<i>Green</i>
3	630 - 660	0.5	<i>Red</i>
4	850 - 870	2	---
5	1,600 - 1,620	2	---
6	2,250 - 2,270	2	---
7	3,740 - 3,960	2	---
8	6,060 - 6,043	2	<i>Water Vapor</i>
9	6,890 - 7,010	2	<i>Water Vapor</i>
10	7,260 - 7,430	2	<i>Water Vapor</i>
11	8,440 - 8,760	2	SO ₂
12	9,540 - 9,720	2	O ₃
13	10,300 - 10,600	2	<i>Atmospheric Window</i>
14	11,100 - 11,300	2	<i>Atmospheric Window</i>
15	12,200 - 12,500	2	<i>Atmospheric Window</i>
16	13,200 - 13,400	2	CO ₂

Satelit *Himawari-8* dan stasiun buminya dioperasikan oleh sebuah perusahaan bernama HOPE (*Himawari Operation Enterprise Corporation*) yang kemudian mentransmisikan datanya ke JMA. Data yang diterima diproses oleh *Meteorological Satellite Center* (MSC), sebuah unit kerja milik JMA yang memang bertugas untuk mengamati meteorologi dan fenomena terkait lainnya berdasarkan data satelit. Proses transmisi data untuk Satelit *Himawari-8/9* diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses Sistem Transmisi Ddn Pengolahan Produk Satelit Cuaca *Himawari-8* (Hidehiko, Masaya, and Yuki, 2015; Nugraha, 2019).

2.4 Pemodelan Awan dengan Metode *Split Window Algorithm*

Split window algorithm (SWA) merupakan salah satu metode untuk mendeteksi dan mengklasifikasi jenis awan di atmosfer berdasarkan data satelit. Dalam metode SWA, klasifikasi jenis awan diperoleh dengan mempertimbangkan distribusi spasial dari *brightness temperature* (BT) and *brightness temperature difference* (BTD) dari kanal thermal satelit. Pengelompokan jenis awan dalam metode SWA diperlihatkan pada Gambar 7. Dalam studi ini, metode *unsupervised* SWA diaplikasikan dengan membandingkan antara hasil dari pasangan *band* 13 dan 15 (SWA13-15, 10 and 12 μm) dengan *band* 15 dan 16 (SWA15-16, 12 and 13 μm) (Purbantoro *et al.* 2018; Nugraha, 2019).



Gambar 7. Pengelompokan Jenis Awan Berdasarkan Metode *Split Window Algorithm*

Prosedur metode SWA berdasarkan data Satelit *Himawari-8* dalam studi ini diimplementasikan untuk area Japan dan sekitarnya. Jenis awan berdasarkan warna yang ditampilkan pada Gambar 9 dan 10 ditentukan menurut matriks BT dan BTD pada Gambar 8. Prosedur penentuan jenis awan adalah:

1. Perhitungan nilai albedo berdasarkan data level 1 dari Satelit *Himawari-8* pada *area of interest*. Dalam studi ini, daerah yang dijadikan sample adalah Jepang dan sekitarnya. Formula untuk menentukan *albedo* adalah:

$$\rho_{ap}(\lambda) = \rho_{tot}(\lambda) \frac{d^2}{\cos \theta_s} \quad (1)$$

$$\rho_{tot}(\lambda) = 0.001559 \times L_{obs}(\lambda) \quad (2)$$

$$L_{obs}(\lambda) = (0.377358 \times DN(\lambda)) - 7.547167 \quad (3)$$

2. Menentukan nilai BT dan BTD berdasarkan formula berikut:

$$BT = c_0 + c_1 T_e + c_2 T_e^2 \quad (4)$$

dengan

$$T_e = \frac{hc}{k\lambda} \left[\ln \left(\frac{2hc^2}{\lambda^5 I} \right) + 1 \right]^{-1} \quad (5)$$

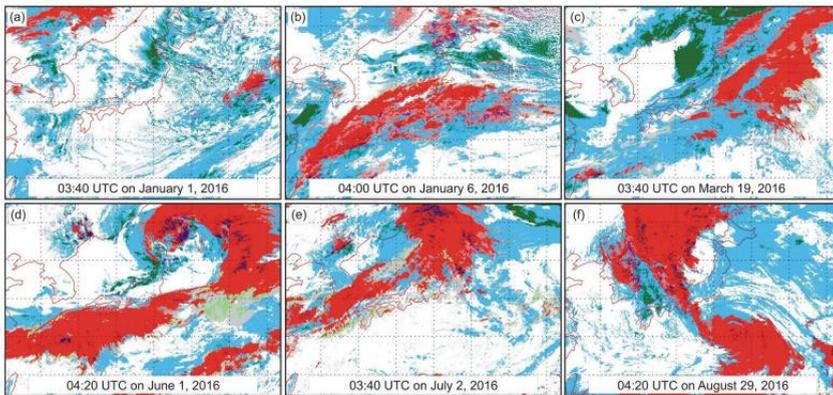
3. Mengelompokkan jenis awan dalam matriks BT dan BTD seperti pada Gambar 8.

		High-Cloud	Middle-Cloud	Low-Cloud	
BTD-2		Type #7 Thick Cirrus	Type #8 Cirrus	Type #9 Thin Cirrus	Thin-Cloud
		Type #4 Dense Cirrus	Type #5 Ice Cloud	Type #6 Water Cloud/ Stratocumulus/ Stratus	Thick and Dense-Cloud
BTD-1		Type #1 High Cumulonimbus	Type #2 Middle Cumulonimbus	Type #3 Cumulus	Very Thick/ Developed Cloud
	0		BT-1	BT-2	

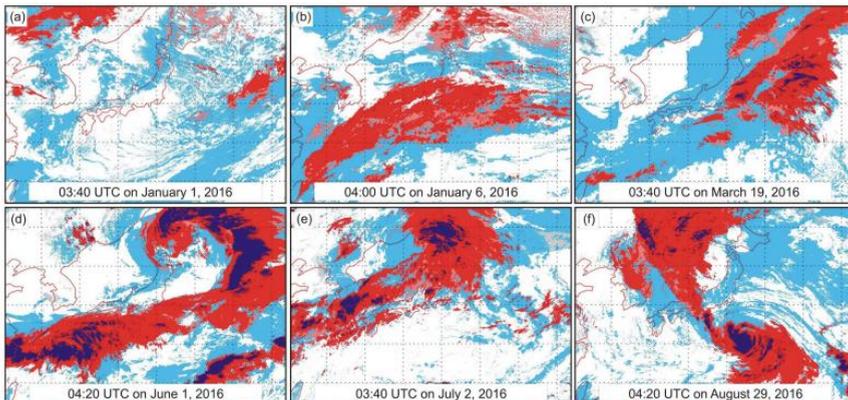
Gambar 8. Matriks BT dan BTD untuk Mengklasifikasikan Jenis Awan (JMA, 2015)

Berdasarkan prosedur SWA terhadap data Satelit *Himawari-8* untuk area Jepang dan sekitarnya, maka diperoleh klasifikasi awan berdasarkan BT dan BTD untuk SWA13-15 dan SWA15-16 pada Gambar 9 dan 10. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa sembilan tipe awan di area sampel, Jepang dan sekitarnya mampu dikenali, yaitu: *high cumulonimbus*, *middle cumulonimbus*, *cumulus*, *dense cirrus*, *ice cloud*, *water cloud*, *thick cirrus*, *cirrus*, dan *thin cirrus*. Jenis awan tersebut termasuk dalam klasifikasi pada Gambar 8. Warna putih menunjukkan area yang tidak berawan. Berdasarkan hasil pada kedua Gambar 9 dan 10,

diketahui bahwa metode SWA untuk BTD pada kanal 13-15 memberikan sebaran tipe awan yang lebih luas dibandingkan BTD untuk kanal 15-16. Kedua model kanal menunjukkan efektivitas dalam mendeteksi awan jenis *dense cirrus* yang berwarna merah. Di lain pihak, BTD kanal 15-16 lebih efektif dalam mendeteksi awan *cumulonimbus* yang berwarna biru tua sebagai area yang berpotensi hujan. Kekurangan metode SWA secara umum adalah kesulitan dalam mendeteksi thin cirrus berdasarkan BT and BTD karena tipe awan tersebut mendekati semi transparan. Kondisi semi transparan hamper menunjukkan kondisi tanpa awan.



Gambar 9. Hasil Klasifikasi Jenis Awan Berdasarkan BTD untuk *Band* 13 dan 15



Gambar 10. Hasil Klasifikasi Jenis Awan Berdasarkan BTD untuk *Band* 15 dan 16

3 KESIMPULAN

Dalam studi ini, metode *unsupervised* SWA telah diaplikasikan dengan membandingkan antara hasil dari pasangan band 13 dan 15 (SWA13-15, 10 and 12 μm) dengan band 15 dan 16 (SWA15-16, 12 and 13 μm). Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa kedua metode tersebut efektif dalam mendeteksi *dense cirrus*. Jenis awan *cumulus* lebih efektif dideteksi dengan SWA13-15 sedangkan awan *high cumulonimbus* lebih efektif dideteksi dengan SWA 15-16.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminuddin, J., Okude, S., Lagrosas, N., Manago, N. and Kuze, H. 2018. Real Time Derivation of Atmospheric Aerosol Optical Properties by Concurrent Measurements of Optical and Sampling Instruments. *Open J. Air Pollut.*, vol. 07, no. 02, pp. 140–155.
- Andrews, D. G. 2010. *An Introduction to Atmospheric Physics*, Second Ed. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK Published: Cambridge University Press, 2010.
- Bessho, K. *et al.* 2015. An Introduction to Himawari-8/9 - Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites. *J. Meteorol. Soc. Japan*.
- Dionisi, D., Barnaba, F., Diémoz, H., Di Liberto, L. and G. P. Gobbi, G. P. 2018. A Multiwavelength Numerical Model in Support of Quantitative Retrievals of Aerosol Properties from Automated Lidar Ceilometers and Test Applications for AOT and PM10 Estimation. *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 11, no. 11, pp. 6013–6042.
- Hidehiko, M., Masaya, T. and Yuki, K. 2015. VIS and IR Bands of Himawari- 8 / AHI Compatible with Those of MTSAT- 2 / Imager. *Meteorol. Satell. Cent. Tech. Note*, no. 60, pp. 1–18.
- JMA. 2015. *Himawari Standard Data User ' s Guide*, Version 1. Tokyo-Japan: Japan Meteorological Agency.
- Kushardono, D. 2012. Kajian Satelit Penginderaan Jauh Cuaca Generasi Baru Himawari 8 dan 9. *Teknol. dan Data Penginderaan Jaya*, vol. III, no. January 2012, pp. 41–49.
- Nugraha, A. S. A. 2019. Pemanfaatan Metode Split-Windows Algorithm (SWA) pada Landsat 8 Menggunakan Data Uap Air MODIS Terra (The Application of Split-Windows Algorithm (SWA) Methods on Landsat 8 Using Modis Terra Water Vapor),” *Geomatika*, vol. 25, no. 1, pp. 9–16
- Pawitan, H. 1989. *Termodinamika Atmosfir*. Bogor: IPB.
- Purbantoro B. *et al.* 2018. Comparison of Cloud Type Classification with Split Window Algorithm Based on Different Infrared Band Combinations of Himawari-8 Satellite. *Adv. Remote Sens.*, vol. 07, no. 03, pp. 218–234.
- Robert, J. and Houze, A. 1993. *Cloud Dynamic*, Internatio. California: Academic Press, Inc.
- Saha, K. 2008. *The Earth's Atmosphere*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

BEST SUBSET REGRESSION DAN APLIKASINYA

Budi Pratikno

Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno 61 Karangwangkal Purwokerto, Jawa Tengah, 53123
email: bpratikto@gmail.com

Abstrak. Artikel ini membahas pemilihan variabel predictor dalam model regresi berganda dengan menggunakan model best subset regression. Statistik C_p Mallow digunakan untuk mengidentifikasi model terbaik dalam regresi berganda. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa model yang diperoleh dinyatakan signifikan pada saat nilai statistik C_p Mallow konvergen ke p , yaitu variable x_2 (pada model dengan tiga variabel) dan PTP, PDU, PDI (pada model dengan empat variabel).

Kata kunci: *best subset*, statistik C_p Mallow, model regresi linier berganda.

Abstract. *The article discussed the selection variable predictors in multiple regression model (MRM) using best subset of regression model. The C_p Mallow is used to identify the best model of the MRM. The result showed that the significant model occurred when the C_p Mallow is close to p , namely single prediktor x_2 (on three vraibales) and PTP, PDU, PDI (on four variables).*

Keywords: *Best Subset, C_p statistic and MRM model.*

1. PENDAHULUAN

Umumnya penentuan model terbaik pada model regresi berganda atau *multiple regression model* (MRM) dalam pelibatan variabel prediktor dilakukan dengan Uji- F dalam *analysis of variance* (Anova),

$$F = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)}, \quad (1)$$

dan atau uji parsial koefisien parameter regresinya,

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \quad (2)$$

(Montgomery et al., 2012: 73). Prosedur tersebut adalah prosedur klasik dan harus melakukan uji pendahuluan, yaitu uji asumsi regresi yang terdiri uji normal dan *random error* $e_i \sim N(0, \sigma^2)$, uji autokorelasi antar *error*, uji heteroskedastisitas, uji multikolinearitas antar prediktor melalui identifikasi korelasi yang kuat antar prediktornya,

$$r_{yx_i} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}, \quad (3)$$

dan lain-lain.

Beberapa metode seleksi variabel dalam model regresi sudah banyak dibahas oleh beberapa *authors* (peneliti/penulis), seperti Draper and Smith (1998), Gujarati (2016), Ghozali (2013, 2016), Kutner et al. (2005), Montgomery et al. (2012), Bhattacharyya and Johnson (1977), Montgomery (1996), Mendenhall (2012), dan Mendenhall dan Sincich (2004).

Dalam hal pemilihan model terbaik tersebut maka terdapat salah satu metode yang relatif efisien yang menggunakan *output* indikator regresi yang sering dimunculkan dalam *output software*, yaitu metode *best subset regression*. Dalam metode ini, proses pemilihan model regresi terbaik dengan menggunakan empat indikator *significant* secara bersamaan dari *output* model regresi, yaitu *coeficient determination* (R^2), R^2 -adj, standar deviasi akar (s) dari *mean square error* (MSE) dan statistik C_p Mallow.

2. PEMBAHASAN

2.1 *Best Subset Model*

Metode ini digunakan untuk memilih *subset* variabel prediktor (X) terbaik untuk memprediksi Y . Asumsi yang harus ada dalam model ini adalah jumlah observasi lebih besar dari jumlah paramater ($n > p$). Berikut tahapan yang harus dilakukan dalam proses tersebut, yaitu (Draper dan Smith, 1992: 284):

(1) nilai R^2 ,

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

tertinggi dari kombinasi variabel prediktor yang dihasilkan;

(2) nilai R^2 (*Adj*) melihat nilai adj R^2 yang maksimum,

$$R_{adj}^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right) \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \text{ atau}$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(n-1)SSE}{(n-p)SST} \quad (5)$$

dengan: y_i : nilai observasi respons ke- i ,

\bar{y} : mean respons,

\hat{y}_i : nilai taksiran ke- i ,

n : banyak observasi,

p : banyak prediktor,

SSE : *sum square error*,

SST : *sum square total*.

Dalam hal ini R^2 (*adj*) telah mempertimbangkan jumlah sampel data dan jumlah variabel yang digunakan;

(3) nilai C_p *Mallows* yang merupakan ukuran kebaikan prediksi. Suatu variabel yang nilai C_p *Mallows*-nya kecil dan *close to p* maka model tersebut semakin baik, dimana

$$Cp = \frac{JKSp}{s^2} - (n - 2p) \text{ atau } Cp = \frac{SSE}{MSE} - n + 2p \quad (6)$$

dengan $JKSp$ = jumlah kuadrat sisa dari model yang mengandung p , s^2 = kuadrat tengah sisa dari persamaan terbesar. Apabila s^2 adalah estimasi yang baik untuk σ^2 , maka nilai harapan dari Cp adalah $E(Cp) = \frac{(n-p)\sigma^2}{\sigma^2} - n + 2p = p$, atau Cp close to p ,

- (4) nilai standar deviasi (s) hasil akar MSE yang terkecil. Dari persamaan (6) maka dapat dikatakan bahwa Cp Mallow criterion didasarkan pada *total squared error* dari n observasi yang dicocokkan dari model regresi yang diperoleh, dengan *total squared error* terdiri atas komponen bias dan komponen *random error*. Dalam ilmu statistik, kriteria Cp Mallow sering digunakan untuk membantu dalam pemilihan model regresi berganda yang potensial (terbaik) sebagaimana tersebut diatas, yaitu dengan menentukan pilihan pada Cp Mallows yang relatif kecil dan *close to p*.

2.2 Contoh Penerapan dari Best Subset Model

Selanjutnya dibawah ini diberikan simulasi penentuan model terbaik untuk data kemiskinan yang melibatkan 3 variabel prediktor, yaitu kemiskinan (y), pengangguran (x_1), lama sekolah (x_2), dan usia harapan (x_3), dengan hasil *best subset* adalah sebagai berikut (Tabel 1., Sopati, 2109), dimana x_1 dikeluarkan dalam model karena tidak signifikan.

Tabel 1. *Output Best Subset Model*

<i>R-Sq</i>	<i>R-Sq (adj)</i>	<i>Mallows Cp</i>	<i>S</i>	<i>y</i>	<i>X₂</i>	<i>X₃</i>
98	98	4	0,29	X		
64	60	20	1,21			X
99	98	2	0,25	X	X	
99	98	3	0,25	X		X
99	98	4	0,25	X	X	X

Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai *R-Sq* terbesar yaitu 99, nilai *R-Sq (adj)* terbesar yaitu 98, nilai *Cp-mallows* yang paling kecil yaitu 2, dan nilai *S* terkecil yaitu 0,25, sehingga model terbaik adalah model dengan variabel prediktor x_2 . Simulasi kedua diberikan dari kasus kerja praktek yang mengacu pada *output* kerja praktek Safrizal (2018) (Gambar 1.)

Vars	R-Sq	R-Sq(adj)	Mallows Cp	S	P P P P			
					T	D	D	D
					P	T	U	I
1	79.9	78.1	23.1	51439091				X
1	74.0	71.6	32.6	58534684	X			
2	92.3	90.7	5.4	33496101		X	X	
2	86.7	84.0	14.3	43908105	X	X		
3	94.9	93.2	3.2	28723355	X	X	X	
3	92.8	90.4	6.6	34103618	X	X	X	
4	95.0	92.5	5.0	30091620	X	X	X	X

Gambar 1. *Output Best Subset Model*

Gambar 1. menunjukkan bahwa nilai *R-Sq* terbesar yaitu 94,9, nilai *R-Sq (adj)* terbesar yaitu 93,2, nilai *Cp-mallows* yang paling kecil mendekati 4 adalah 3,2, dan nilai *S* terkecil yaitu 28723355, sehingga model terbaik adalah model dengan variabel prediktor *PTP, PDU dan PDI*.

Catatan yang perlu diperhatikan dalam kajian pemilihan model terbaik (*best subset*) atau penyeleksian variabel prediktor yang masuk ke dalam model adalah bahwa pemilihan model regresi belum tentu

memberikan model tersebut cocok dengan masalah yang dihadapi. Mungkin terdapat permasalahan pada kelinieran atau kenormalan (dan keacakan) residual yang mungkin saja tidak cocok untuk data yang dimiliki. Untuk memeriksa kecocokan model dengan data maka diperlukan uji *error* untuk melihat pemenuhan asumsi: (1) apakah *error* berpola acak (*random*); (2) apakah asumsi normal pada *error* tidak dilanggar; (3) apakah variansi dapat dianggap konstan (tidak berubah); (4) apakah ada data yang tidak mengikuti pola umum (pencilan), *error*-nya besar, karena pencilan tersebut sangat berpengaruh terhadap *normality error*-nya; (5) apakah variabel yang masuk dalam model barangkali bukan berbentuk linier; dan **(6) apakah variabel yang berpengaruh telah masuk ke dalam model.** Pada kasus yang nomor (6) maka perlu dilakukan kajian forward atau backward selection model untuk variable predictor, hal ini terkait dengan apa yang dinyatakan oleh Gujarati (2006: 98) bahwa asumsi harus dipenuhi dan untuk mengatasi penyimpangan asumsi regresi (asumsi distribusi normal, terdapat heteroskedastisitas (variansi tidak konstan), atau terdapat korelasi antara variabel independen), maka diatasi dengan melakukan pembobotan data, yaitu jika variansi *error* menunjukkan pola yang membesar terhadap kuadrat X_t (yaitu, plot antara *error* e_i dan nilai x_i) maka pembobotan yang dapat dilakukan adalah membagi variabel dependen dan variabel independen pada model regresi dengan X_t .

3. KESIMPULAN

Model terbaik dari regresi linier berganda yang ditentukan melalui *best subset* jauh lebih komprehensif karena melibatkan empat indikator yang *significant*. Dari keempat indikator tersebut maka C_p Mallow merupakan metode yang cukup signifikan untuk digunakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dari tiga variabel prediktor yang digunakan maka

hanya model dengan variabel prediktor x_2 menjadi yang terbaik, demikian juga dengan simulasi yang kedua, yaitu *PTP, PDU dan PDI* adalah variable terseleksi untuk *best model*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, G. K and Johnson, R. A. 1977. *Statistical Concepts and Methods*. USA: John and Wiley Son.
- Draper, N. R. and Smith, H. 1998. *Applied Regression Analysis*. Third Edition. USA: Jhon Wiley and Sons, USA.
- Draper, N. R. dan Smith, H. 1992. *Analisis Regersi Terapan*. Edisi Kedua. Terjemahan oleh Bambang Sumantri. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Gujarati, D. 2016. *Dasar-Dasar Ekonometrika*. (Terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- Ghozali, I. 2016. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 23*. Edisi 8. Cetakan ke VIII. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Ghozali, I. 2013. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*. Edisi Ketujuh. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Montgomery, D. C. 1996. *Regression Analysis*. USA: John and Wiley Son.
- Mendenhall, W. 2012. *Regression Analysis*. 7th edition. USA: University of Florida.
- Medenhall, W. dan Sincich, T. 2004. *A Second Course in Statistic: Regression Analisis*. Edisi ketujuh. New York: Prentice Hall.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., and Li, W. 2005. *Aplied Linear Statistical Models*. 5th Edition. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., and Vining, G. G. 2012. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 5th Edition. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Safrizal, A. B. 2018. *Laporan Kerja Praktek*. (Unpublished).
- Sopati, D. 2019. *Laporan Kerja Praktek*. (Unpublished).

INVESTIGASI POTENSI PASIR BESI DI KAWASAN PESISIR TIMUR KABUPATEN CILACAP DAN DAMPAK EKSPLOITASINYA BERDASARKAN DATA ANOMALI MAGNETIK

Sehah

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno 61 Karangwangkal Purwokerto, Jawa Tengah, 53123
e-mail: seah.geophysics@gmail.com

Abstrak. Investigasi potensi pasir besi di kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap berdasarkan data anomali magnetik dan dampak eksploitasinya telah dilakukan pada bulan Maret 2016 hingga Oktober 2017. Lokasi penelitian terdiri atas lima kawasan pesisir, yang meliputi Pesisir Binangun 1, Pesisir Binangun 2, Pesisir Binangun 3, Pesisir Nusawungu 1, dan Pesisir Nusawungu 2. Hasil penelitian menunjukkan pasir besi diperkirakan ditemukan di seluruh kawasan, dimana potensi paling besar terdapat di kawasan Pesisir Nusawungu 1 dan potensi paling kecil di kawasan Pesisir Nusawungu 2. Potensi ini didasarkan atas nilai interval data anomali magnetik lokal, sebab nilai anomali lokal berasosiasi langsung dengan sifat kemagnetan mineral-mineral besi. Berdasarkan hasil penelitian, nilai anomali magnetik lokal di kawasan Pesisir Nusawungu 1 berkisar $-711,38 - 1701,84$ nT, dan di kawasan Pesisir Nusawungu 2 berkisar $-498,66 - 201,73$ nT. Dampak eksploitasi pasir besi yang mungkin terjadi adalah kerusakan pada lapisan akuifer air tanah, intrusi air asin dari lapisan akuifer dalam, dan abrasi akibat hantaman gelombang laut.

Kata Kunci: potensi pasir besi, dampak eksploitasi, data anomali magnetik lokal, pesisir timur Kabupaten Cilacap.

Abstract. *Investigation of the potential of iron sand in the Eastern Coastal area of Cilacap Regency and the impact of its exploitation based on magnetic anomaly data has been carried out in March 2016 to October 2017. The research*

location consists of five coastal areas, i.e. Binangun 1, Binangun 2, Binangun 3, Nusawungu 1, and Nusawungu 2. The results of the research show that iron sand deposites are estimated to be found in all areas, where the greatest potential is found in the Nusawungu 1 coastal area and the smallest potential is found in the Nusawungu 2 coastal area. This potential is based on the value of the local magnetic anomaly data interval, because the local anomaly value is directly associated with the magnetic properties of iron minerals. Based on the results of the research, the local magnetic anomalies value in the Nusawungu 1 coastal area ranges of -711.38 – 1701.84 nT, and in the Nusawungu 2 coastal area ranges of -498.66 – 201.73 nT. The possible negative impacts of the iron sand exploitation are damage on the groundwater aquifer in the subsurface, saltwater intrusion from the deep aquifer, and triggers coastal abrasion due to the impact of ocean waves.

Keywords: *potential of iron sand, exploitation impacts, local magnetic anomaly data, eastern coastal, Cilacap Regency.*

1. PENDAHULUAN

Kawasan pesisir Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah mempunyai sumberdaya alam berupa bahan tambang bijih besi yang melimpah. Kegiatan penambangan di kawasan ini telah menghasilkan kira-kira 300.000 ton konsentrat bijih besi setiap tahun (Herman, 2005). Penambangan bijih besi yang dilakukan selama bertahun-tahun mengakibatkan cadangan bijih besi di sepanjang pesisir Kabupaten Cilacap mengalami penurunan, sehingga penambangan dalam skala besar sudah tidak ada lagi. Menurut Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten Cilacap, jumlah bijih besi yang tersisa saat ini diperkirakan sekitar 600 ribu ton dengan kandungan besi (Fe) di bawah 50% sehingga kurang ekonomis. Meskipun kegiatan penambangan telah ditutup dan bekas lokasi penambangannya direklamasi, namun penambangan dalam skala kecil masih terus berjalan (Burhani, 2007).

Salah satu kawasan di pesisir Kabupaten Cilacap yang diperkirakan masih mempunyai potensi bijih besi adalah pesisir timur Kabupaten Cilacap yang terdiri atas Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu. Cadangan bijih besi di kawasan ini termasuk bagian yang belum ditambang dengan luas lebih dari 500 hektar, derajat kemagnetan (*magnetic degree*) sekitar 12.2%, dan kandungan besi (Fe) lebih dari 53%. Cadangan bijih besi di kawasan ini tersebar dari pesisir Desa Welahan Wetan Kecamatan Binangun hingga Desa Jetis Kecamatan Nusawungu dengan perkiraan sebesar 744.678,85 ton (Anonim, 2015). Sedangkan endapan bijih besi di kawasan lain di Kabupaten Cilacap, sebagian besar telah habis ditambang oleh PT Aneka Tambang (ANTAM) Tbk, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1.Salah Satu Lokasi Penambangan Pasir Besi di Pesisir Cilacap oleh PT Aneka Tambang Tbk (sumber: <http://denisugandi.com>).

Bijih besi yang dominan di kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap adalah jenis mineral *magnetite* (Fe_2O_4) yang merupakan bahan dasar logam besi (Jatmika *dkk.*, 2012). Besi merupakan bahan baku yang penting yang banyak dimanfaatkan oleh hampir seluruh industri selama berabad-abad hingga saat ini sebagai bahan dasar untuk konstruksi beton, jembatan, alat

transportasi seperti pesawat terbang, mobil, sepeda motor, kereta api, dan sebagainya. Selain sebagai bahan baku industri baja, pasir besi berukuran nano juga dimanfaatkan untuk bahan campuran semen, bahan dasar tinta kering (*toner*), dan printer laser. Pasir besi yang memiliki kandungan Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO dan ukuran butiran 80-100 mesh berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti semen dalam produksi beton berkinerja tinggi (Anonim, 2018).

Untuk menginvestigasi potensi dan penyebaran bijih besi di kawasan pesisir timur Kabupaten Cilacap Jawa Tengah, maka perlu dilakukan Survei Geofisika. Survei Geofisika merupakan survei yang bertujuan untuk menginvestigasi struktur geologi atau batuan atau fenomena fisis yang terjadi di bawah permukaan melalui pengukuran besaran-besaran fisika di atas permukaan bumi. Survei geofisika yang diterapkan untuk investigasi ini adalah survei magnetik, karena metode ini sangat responsibel terhadap sifat magnetik bijih besi yang sangat kuat. Survei magnetik didasarkan atas pengukuran variasi medan magnetik pada permukaan bumi yang terjadi akibat distribusi batuan atau mineral termagnetisasi secara tidak homogen di bawah permukaan (Marita, 2017).

1.1. Konsep Dasar Survei Magnetik

Survei magnetik merupakan salah satu metode di dalam eksplorasi geofisika yang didasarkan atas pengukuran kuat medan magnetik di permukaan bumi. Kuat medan magnetik yang terukur merupakan gabungan antara medan magnetik utama bumi (*main field*), medan magnetik luar (*external field*), serta anomali magnetik yang bersumber dari distribusi mineral dan batuan yang termagnetisasi di bawah permukaan bumi (*anomaly field*). Untuk memperoleh nilai anomali magnetik (ΔB) dari suatu

akuisisi data, nilai kuat medan magnetik total yang terukur (B_T) harus dibersihkan dari medan magnetik utama bumi (B_0) dan medan magnetik luar (B_H), seperti dinyatakan dalam persamaan:

$$\Delta B = B_T - B_0 - B_H \quad (1)$$

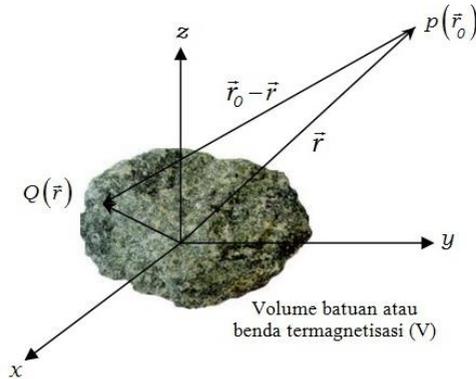
Nilai anomali magnetik (ΔB) pada umumnya merupakan data yang menjadi target suatu penelitian. Nilai anomali magnetik ini, selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan pemodelan dan interpretasi struktur geologi dan batuan bawah permukaan bumi (Lukhovich *et.al.*, 2003; Rivas, 2009).

Anomali magnetik merupakan medan magnetik yang berasal dari distribusi mineral dan batuan bawah permukaan yang termagnetisasi. Menurut Telford *et.al.* (1990), suatu volume yang terdiri atas bahan-bahan magnetik dapat diasumsikan sebagai dipol magnetik seperti terlihat pada **Gambar 2**. Magnetisasi yang terjadi pada bahan-bahan magnetik tersebut tergantung dari besar induksi magnetik yang diterimanya selama berada di dalam medan magnetik utama bumi. Berdasarkan **Gambar 2**, besar potensial magnetik di seluruh volume batuan dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$V(\vec{r}_0) = -C_m M \frac{\partial}{\partial \alpha} \int \left[\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] \quad (2)$$

dimana M merupakan momen dipol magnetik per satuan volume dan C_m adalah suatu konstanta. Besar induksi magnetik total batuan tersebut dapat dirumuskan:

$$\vec{B}(\vec{r}_0) = C_m \nabla \int_V \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dV \quad (3)$$



Gambar 2. Anomali Magnetik dari Batuan atau Benda Anomali Bawah Permukaan Bumi (Sumber: Telford *et.al*, 1990).

Induksi magnetik seperti persamaan (3) disebut sebagai anomali magnetik (ΔB) yang bersuperposisi dengan medan magnet utama bumi (B_0) di seluruh titik lokasi pengukuran. Dengan demikian, data medan magnetik total sebenarnya yang terukur pada peralatan di suatu titik lokasi di permukaan bumi adalah gabungan antara data medan magnetik utama bumi dan anomali magnetik dengan anggapan bahwa medan magnetik luar dapat diabaikan. Apabila medan magnetik luar tidak diabaikan, maka besarnya nilai anomali magnetik yang terukur di suatu titik pada permukaan bumi telah dinyatakan seperti persamaan (1).

1.2. Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

Secara keseluruhan kawasan pesisir timur Kabupaten Cilacap tertutup oleh endapan *alluvium* dan endapan pantai. Endapan *alluvium* terletak di bagian utara daerah penelitian yang terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal; serta material hasil erosi dari kawasan pegunungan Karangbolong Kabupaten Kebumen yang diendapkan melalui aliran beberapa sungai ke daerah tersebut. Material hasil erosi tersebut diduga kaya akan bijih besi, mengingat di kawasan pegunungan ini banyak

dijumpai intrusi batuan beku, sedangkan endapan pantai terdiri atas pasir lepas yang terpilah baik hingga sedang yang menunjukkan suatu kesan perlapisan dimana ditemukan sumberdaya bijih besi di bagian permukaan pesisir Kabupaten Cilacap Jawa Tengah (Herman, 2005).



Gambar 3. Skema Perkiraan Terbentuknya Endapan Pasir Besi di Kawasan Pesisir dan Pantai yang Kaya Mineral Bijih Besi (Sumber: www.andyyahya.com).

Pasir besi adalah endapan pasir yang mengandung mineral besi (khususnya *magnetite*) yang terdapat di sepanjang pesisir. Endapan ini terbentuk dari proses penghancuran akibat cuaca, air permukaan, dan gelombang terhadap batuan asal yang mengandung mineral besi seperti *magnetite*, *ilmenite*, dan oksida besi lain, kemudian terakumulasi serta tercuci oleh gelombang laut.

Pasir besi diperkirakan berasal dari gunung berapi, mengalir melewati beberapa sungai dan berkumpul di sepanjang sungai (terutama di lekukan sungai), kemudian mengendap di sungai, muara, dan laut. Ombak yang menyapu di sepanjang pantai mengakibatkan pasir besi terpilah hingga menjadi butiran bebas, yang terkayakan secara alami hingga menjadi mineral-mineral besi. Mineral dengan nilai *specific gravity* tinggi akan mengendap, sedangkan mineral dengan nilai *specific gravity* rendah akan tercuci dan terbuang ke laut. Proses alami tersebut terjadi secara

berulang selama ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga dapat terbentuk menjadi endapan pasir besi yang banyak ditemukan di sungai dan pantai seperti terlihat pada **Gambar 3**.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan di dalam penelitian ini terdiri atas peralatan yang digunakan di lapangan dan di laboratorium seperti terlihat pada **Tabel 1**. Peralatan utama yang digunakan untuk akuisisi data di lapangan adalah *Proton Precession Magnetometers* (PPM) dan *Global Positioning System* (GPS) seperti terlihat pada **Gambar 4**.



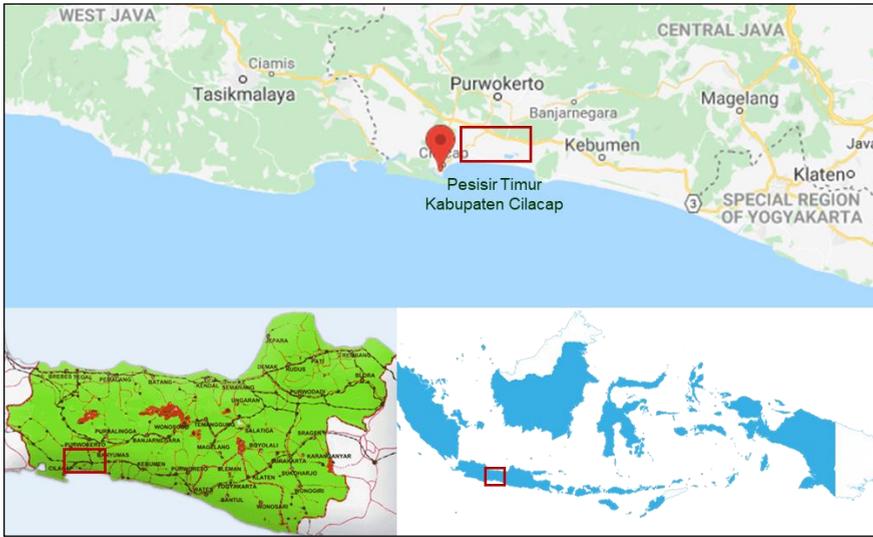
Gambar 4. Peralatan Utama yang Digunakan dalam Akuisisi Data Magnetik; *Proton Precession Magnetometers* (PPM) tipe GSM-19T dari GEM System dan *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin.

Tabel 1. Peralatan Penelitian yang Digunakan dalam Survei Magnetik

No.	Nama Peralatan	Jumlah
1	<i>Proton Precession Magnetometers</i> GSM-19T produk GEM System dengan sensitivitas 0,05 nT	1 set
2	<i>Global Positioning System</i> (GPS)	1 set
3	Peta Geologi Lembar Banyumas – Cilacap	1 eksemplar
4	<i>Google Earth</i> (untuk <i>plotting</i> titik-titik ukur)	3 eksemplar
5	Kompas Geologi	1 buah
6	Kamera digital 12 Mpixel	1 buah
7	Lembar pengamatan dan alat tulis	3 set
8	Kendaraan pengangkut peralatan	1 unit
9	Baterai kotak 9V	1 boks
10	Baterai kecil 1,5V	2 boks
11	Laptop lengkap dengan printer	1 set
12	Perangkat lunak Surfer versi 7	1 paket
13	Program Watfor 77	1 paket
14	Perangkat lunak <i>Mag2DC for Window</i>	1 paket
15	Perangkat lunak <i>Trans Coordinate</i>	1 paket

2.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Investigasi potensi bijih besi di kawasan pesisir timur Kabupaten Cilacap telah dilakukan pada bulan Maret 2016 hingga Oktober 2017. Akuisisi data medan magnetik telah dilakukan di kawasan Pesisir Widarapayung Kecamatan Binangun hingga Pesisir Jetis Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap, seperti terlihat pada **Gambar 4**. Pengolahan data, pemodelan, dan interpretasi data dilakukan di Laboratorium Elektronika, Instrumentasi dan Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Jenderal Soedirman.



Gambar 5. Lokasi Akuisisi Data Pada Survei Magnetik; Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap Bagian Timur (Sumber: *Google Map*).

2.3. Prosedur Penelitian

Akuisisi data magnetik di lapangan dilakukan menggunakan PPM, GPS, dan peralatan penunjang lainnya. Pengukuran data dilakukan pada titik-titik yang telah ditentukan sebelumnya dalam desain survei. Desain survei disusun menggunakan aplikasi *Google Earth* seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**. Data yang diperoleh dari akuisisi di lapangan adalah data kuat medan magnetik total, posisi geografis titik-titik ukur (lintang, bujur, elevasi), waktu pengukuran pada setiap titik, serta keadaan lingkungan atau geologi permukaan.

Setelah diperoleh data kuat medan magnetik total untuk seluruh titik lokasi di daerah penelitian, kemudian dilakukan koreksi terhadap data-data tersebut yang meliputi koreksi medan magnetik utama bumi dan medan magnetik harian seperti telah dituliskan pada persamaan (1) di bagian Pendahuluan. Nilai medan magnetik utama bumi diunduh dari *website* penyedia data IGRF, yang merupakan singkatan dari *International*

Geomagnetic Reference Field. IGRF merupakan jenis model matematis yang mengekspresikan bidang geomagnet dan perubahan jangka panjang dalam distribusi global berdasarkan teori geomagnetisme Gaussian (Deng *et.al.*, 2017). Nilai medan magnetik utama bumi atau IGRF tidak konstan, tetapi berubah sesuai dengan waktu dan posisi garis lintang. Namun variasi nilai medan magnetik ini telah diantisipasi dengan memperbarui dan menetapkan nilai IGRF setiap lima tahun oleh *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA) (Macmillan and Maus, 2005). Setelah dilakukan koreksi-koreksi tersebut, selanjutnya diperoleh data anomali magnetik total.



Gambar 6. Desain Survei Magnetik Salah Satu Kawasan di Pesisir Kecamatan Binangun Kabupaten Cilacap; Akuisisi Data Dilakukan Sesuai Titik-Titik Lokasi yang Telah Ditentukan Menggunakan Aplikasi *Google Earth*.

Data anomali magnetik total (ΔB) yang diperoleh masih terdistribusi pada permukaan topografi, sehingga harus dibawa ke bidang datar agar dapat diproses pada tahap berikutnya. Transformasi data ke bidang datar dilakukan menggunakan pendekatan deret Taylor, seperti persamaan (4).

Data yang diperoleh merupakan data anomali magnetik total yang telah terdistribusi pada bidang datar, yaitu pada ketinggian rata-rata topografi daerah penelitian (Blakely, 1995).

$$\Delta B(x, y, h_0)^{[i+1]} = \Delta B(x, y, h) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(h-h_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} \Delta B(x, y, h_0)^{[i]} \quad (4)$$

Persamaan (4) ditulis dalam bentuk iterasi, dimana $\Delta B(x,y,h_0)$ adalah data anomali magnetik yang terdistribusi pada bidang datar. Data anomali ini diperoleh melalui pendekatan, dimana $\Delta B(x,y,h_0)$ yang diperoleh dari iterasi ke- i digunakan untuk menentukan nilai $\Delta B(x,y,h_0)$ pada iterasi ke- $(i + 1)$. Proses iterasi dapat dilakukan secukupnya, sehingga $\Delta B(x,y,h_0)$ yang diperoleh menunjukkan konvergen. Untuk tebakan awal (*initial guess*) sebelum iterasi, nilai $\Delta B(x,y,h_0)$ pada ruas kanan dapat diisi dengan $\Delta B(x,y,h)$ yaitu data anomali magnetik yang masih terdistribusi pada permukaan topografi.

Data anomali magnetik yang terdistribusi di bidang datar masih terpengaruh oleh sumber-sumber anomali regional. Mengingat target survei adalah bijih besi yang merupakan anomali lokal, maka efek dari sumber-sumber anomali regional harus direduksi. Data anomali magnetik regional dapat diperoleh melalui proses *upward continuation* terhadap data anomali yang telah terdistribusi pada bidang datar (Stella and David, 2015) menggunakan persamaan identitas ke-2 teori Green (Telford *et.al.*, 1990)

$$\Delta B(x', y', h_0 + \Delta h) = \frac{\Delta h}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta B(x, y, h_0)}{\sqrt{((x'-x)^2 + (y'-y)^2 + \Delta h^2)^{3/2}}} dx dy \quad (5)$$

Secara matematis $\Delta B(x', y', h_0 + \Delta h)$ adalah data anomali magnetik regional, yang kemudian dikoreksikan terhadap data anomali magnetik total yang terdistribusi pada bidang datar menggunakan persamaan:

$$\Delta B(x, y, h_0)_{Local} = \Delta B(x, y, h_0) - \Delta B(x', y', h_0 + \Delta h) \quad (6)$$

Data anomali magnetik lokal yang diperoleh merupakan data anomali magnetik yang merepresentasikan kondisi bawah permukaan daerah penelitian yang bersifat dangkal (Li and Oldenburg, 1998), seperti bijih besi yang banyak ditemukan di kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap bagian timur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Akuisisi dan Olah Data Medan Magnetik Total

Akuisisi data magnetik total telah dilaksanakan di lima lokasi yang meliputi tiga lokasi di Pesisir Binangun dan dua lokasi di Pesisir Nusawungu. Batas-batas posisi geografis seluruh lokasi tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2**. Secara visual lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 7**. Untuk mendapatkan data anomali magnetik total, koreksi harian dan koreksi IGRF telah dilakukan terhadap data kuat medan magnetik total, seperti telah dijelaskan pada Metode Penelitian. Data untuk koreksi harian dihitung menggunakan teknik *looping*, sedangkan data koreksi IGRF diakses dari *website* Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Republik Indonesia, sesuai posisi geografis daerah penelitian.

Tabel 2. Posisi Geografis Setiap Lokasi di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap

No.	Nama Lokasi	Posisi Geografis
1	Pesisir Binangun 1	109,2501 – 109,2702 °BT dan 7,6781 – 7,6986 °LS
2	Pesisir Binangun 2	109,2699 – 109,2982 °BT dan 7,6851 – 7,7019 °LS
3	Pesisir Binangun 3	109,2988 – 109,3189 °BT dan 7,6843 – 7,7040 °LS
4	Pesisir Nusawungu 1	109,3143 – 109,3445 °BT dan 7,6908 – 7,7091 °LS
5	Pesisir Nusawungu 2	109,3462 – 109,3718 °BT dan 7,6958 – 7,7098 °LS



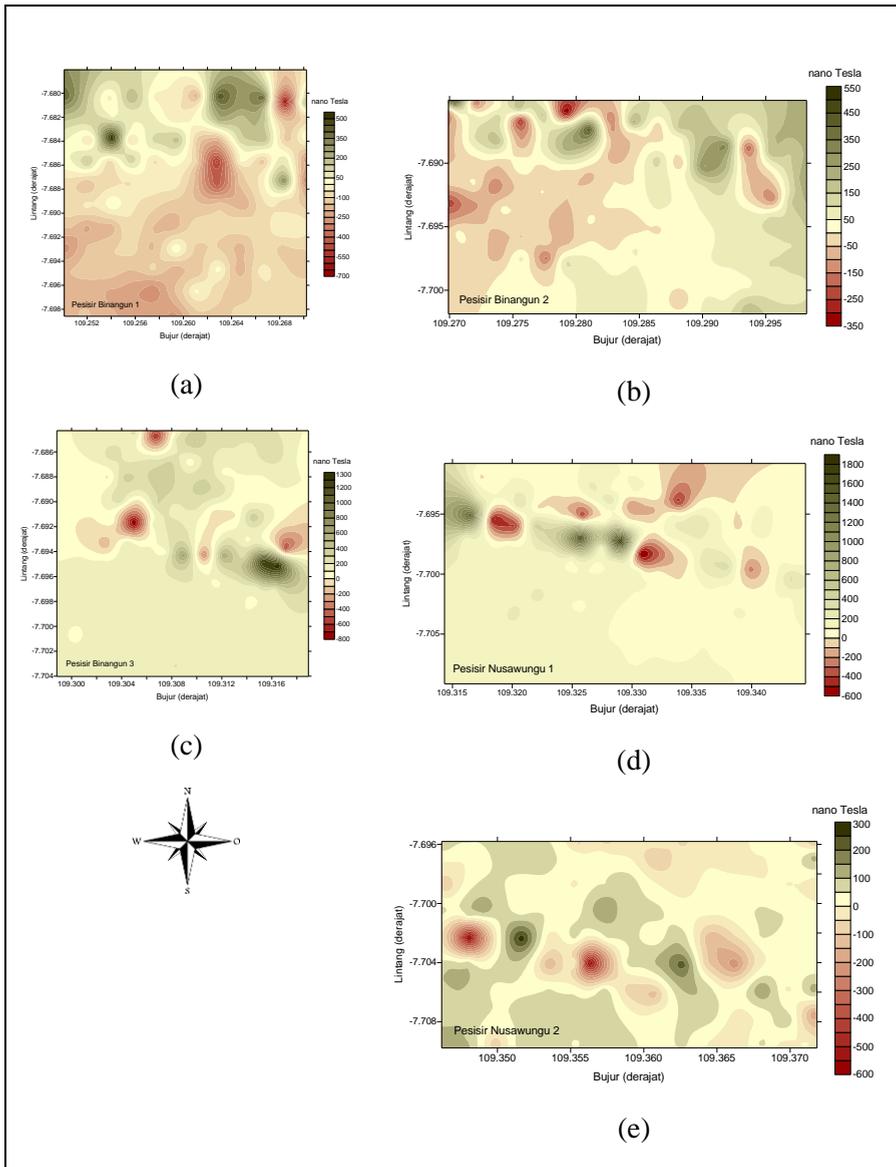
Gambar 7. Peta Lokasi Penelitian di Kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap (Sumber: *Google Map*).

Setelah dilakukan koreksi-koreksi, kemudian diperoleh data anomali magnetik total yang terdistribusi pada permukaan topografi. Peta kontur anomali magnetik total untuk seluruh daerah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 8**. Data anomali magnetik total yang masih terdistribusi pada permukaan topografi, ditransformasi ke bidang datar menggunakan pendekatan Deret Taylor seperti telah dijelaskan di bagian Metode Penelitian. Prinsip kerja Deret Taylor adalah menggunakan fungsi turunan di suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi ke sekitar titik tersebut. Oleh karena itu, deret Taylor dapat dipergunakan untuk memperkirakan nilai anomali magnetik pada titik-titik data yang berada di luar bidang observasi.

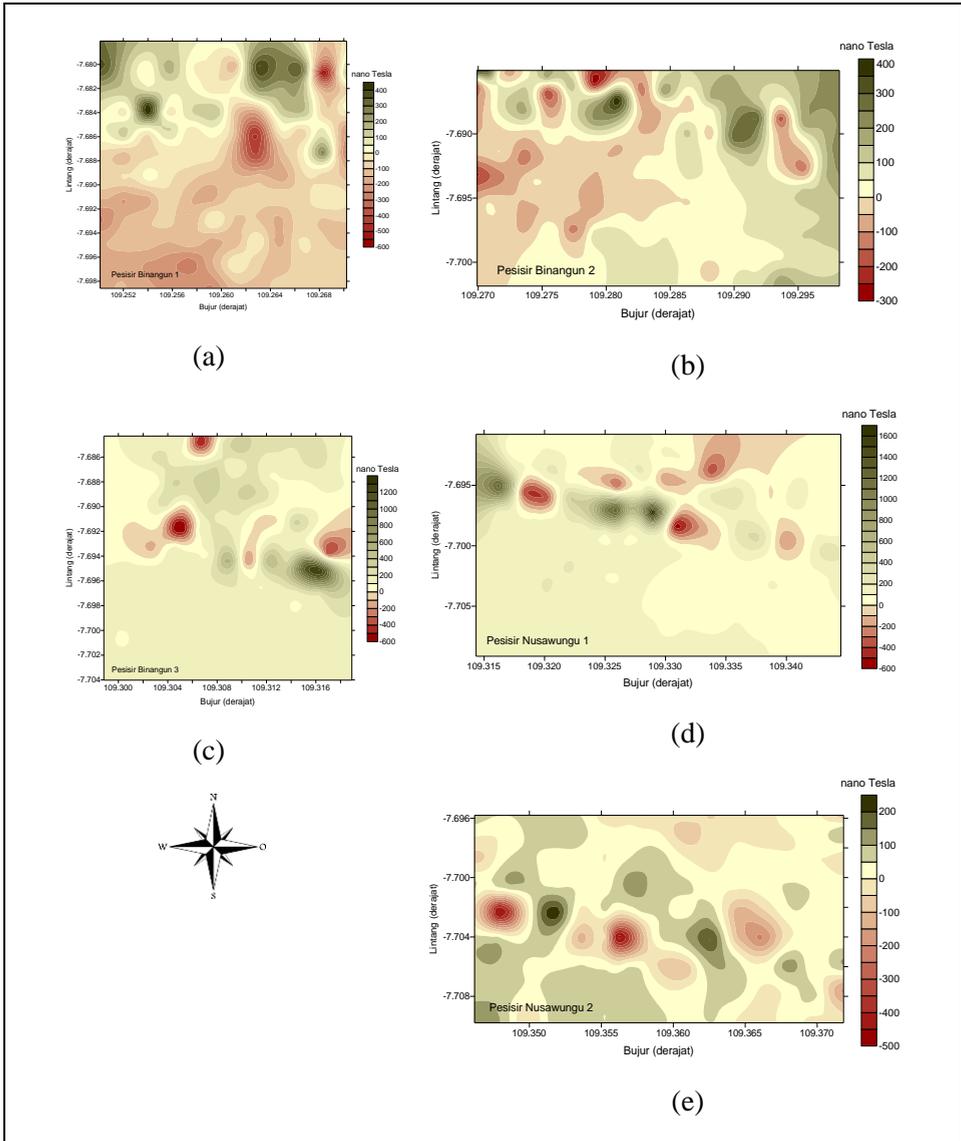
Data anomali magnetik total yang diperoleh merupakan data anomali magnetik total yang telah terdistribusi di bidang datar seperti terlihat pada **Gambar 9**. Bidang datar diambil pada ketinggian rata-rata topografi, agar proses iterasi pada persamaan (4) cepat mencapai konvergen (Telford *et.al.*, 1990).

Berdasarkan peta kontur pada **Gambar 9** diperlihatkan bahwa data anomali magnetik di bidang datar relatif lebih konvergen. Hal ini ditandai dengan rentang nilai anomali yang lebih kecil daripada rentang nilai anomali pada saat data masih berada di topografi. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan deret Taylor telah mencapai konvergen, sehingga data anomali magnetik total tersebut diasumsikan telah terdistribusi di bidang datar secara teoritik. Semakin fluktuatif permukaan topografi, semakin besar perbedaan rentang nilai anomali antara data yang masih terdistribusi pada permukaan topografi terhadap data yang telah terdistribusi pada bidang datar. Untuk kasus ini, perbedaan interval nilai anomalnya tidak terlalu besar, mengingat kondisi topografi daerah penelitian sudah relatif datar.

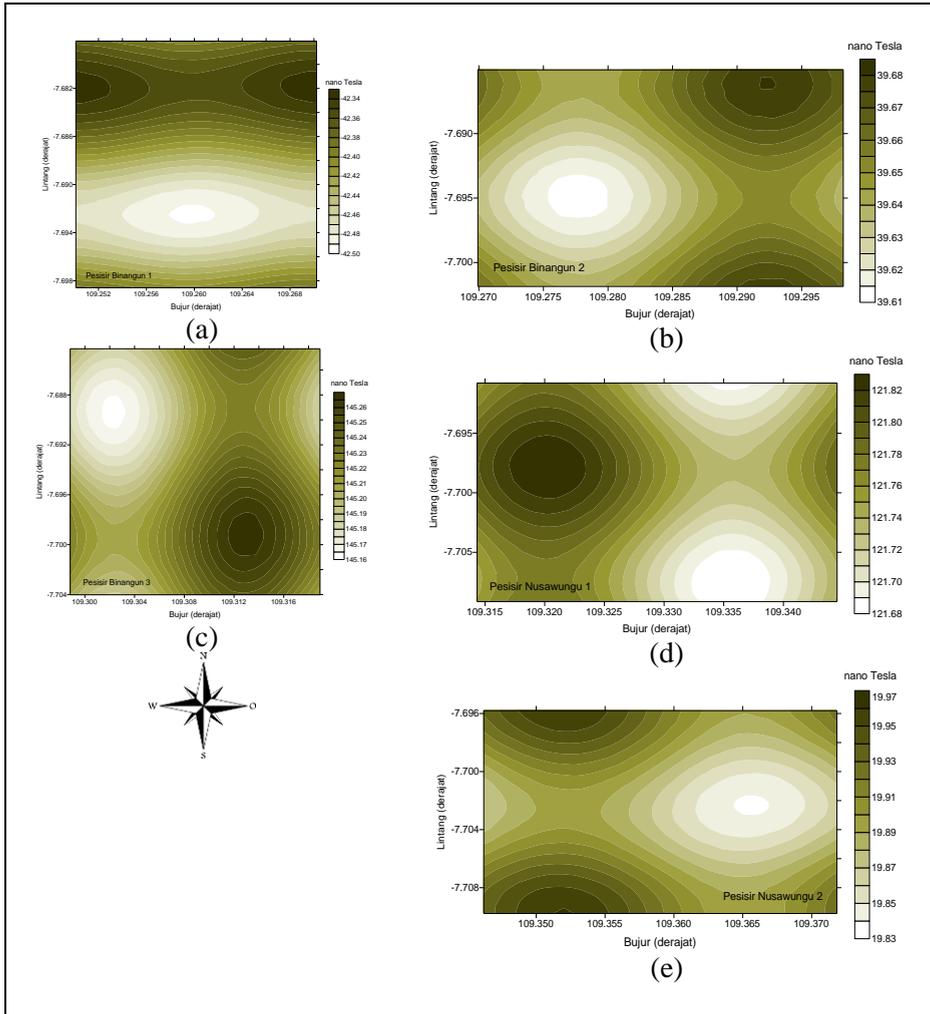
Data anomali magnetik total yang telah terdistribusi pada bidang datar belum bersih dari pengaruh anomali magnetik yang berasosiasi dengan sumber yang sangat dalam dan luas yang biasa disebut sebagai anomali regional. Efek anomali magnetik regional harus dibersihkan dari data anomali magnetik total sesuai dengan prosedur yang tertulis pada bagian Metode Penelitian. Data anomali regional dapat diperoleh melalui proses *upward continuation* sehingga peta kontur yang dihasilkan memiliki pola yang halus dengan interval nilai anomali sangat kecil, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 8. Peta Kontur Anomali Magnetik Total yang Masih Terdistribusi pada Permukaan Topografi: (a) Pesisir Binangun 1, (b) Pesisir Binangun 2, (c) Pesisir Binangun 3, (d) Pesisir Nusawungu 1, dan (e) Pesisir Nusawungu 2.



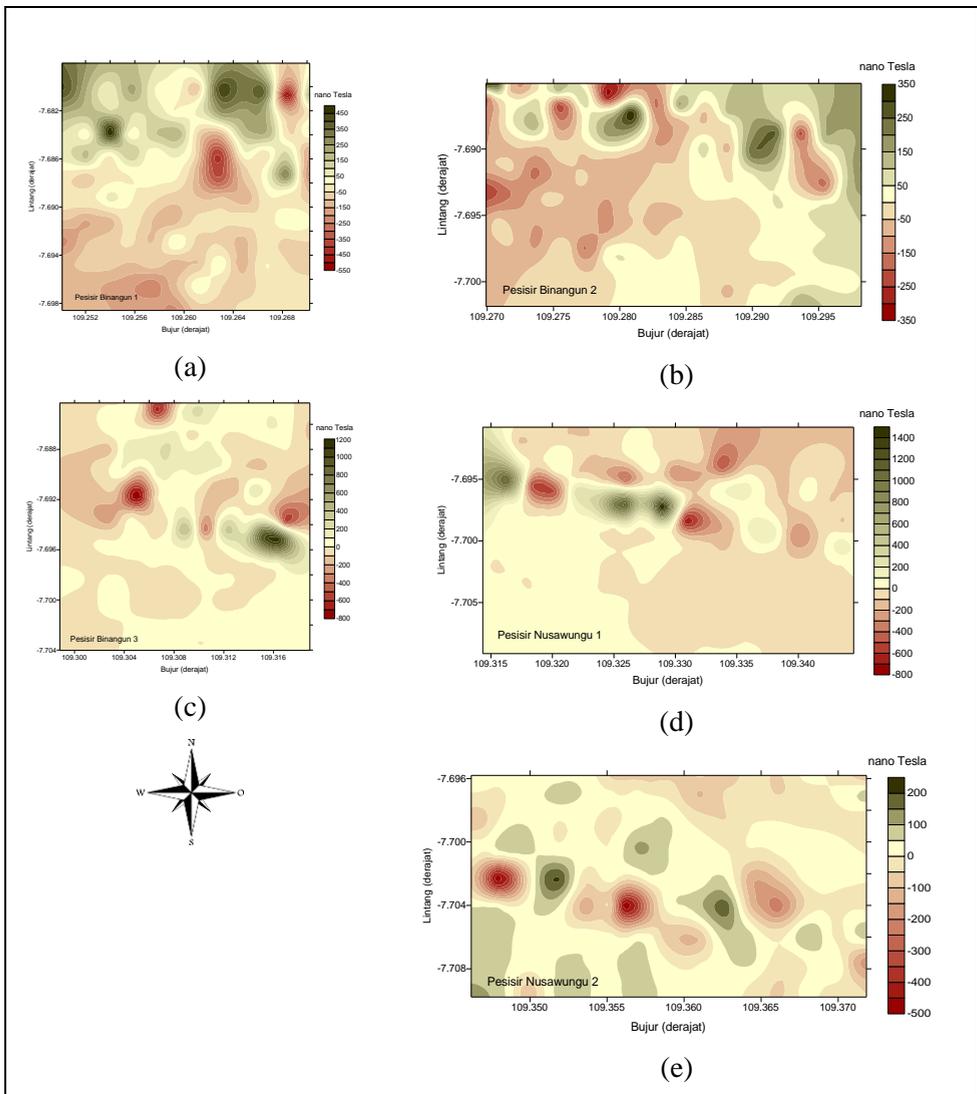
Gambar 9. Peta Kontur Anomali Magnetik Total yang Telah Terdistribusi pada Bidang Datar untuk Masing-Masing Daerah Penelitian (Urutan Gambar Sesuai Gambar 8)



Gambar 10. Peta Kontur Anomali Magnetik Regional untuk Masing-Masing Daerah Penelitian (Urutan Gambar Sesuai **Gambar 8**)

Data anomali magnetik yang diperoleh setelah koreksi efek magnetik regional dinamakan data anomali magnetik lokal, seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**. Data anomali magnetik lokal merupakan data anomali yang telah bersih dari berbagai efek magnetik yang tidak menjadi target penelitian, sehingga merepresentasikan kondisi bawah permukaan daerah tersebut. Namun jika masih terdapat efek-efek magnetik yang sangat kuat yang

bersumber dari topografi, maka dapat dilakukan pemfilteran kembali. Data anomali magnetik lokal ini dapat dimodelkan dan diinterpretasi secara kuantitatif atau diinterpretasi saja secara kualitatif.



Gambar 11. Peta Kontur Anomali Magnetik Lokal untuk Masing-Masing Daerah Penelitian (Urutan Gambar Sesuai Gambar 8)

3.2. Hasil Interpretasi dan Pembahasan

Berdasarkan informasi geologi, kawasan pesisir Kabupaten Cilacap bagian timur didominasi oleh formasi *alluvium* yang terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil dan kerakal, serta material hasil erosi dari pegunungan Karangbolong yang diendapkan melalui aliran beberapa sungai ke daerah tersebut (Asikin *dkk.*, 1992). Pesisir bagian selatan didominasi oleh endapan pantai yang terdiri atas pasir lepas yang terpilah baik hingga sedang yang menunjukkan kesan perlapisan dimana ditemukan sumberdaya alam pasir besi di permukaan atau lapisan di dekat permukaan (Herman, 2005). Pasir besi diperkirakan merupakan satu-satunya jenis logam yang ditemukan di kawasan ini. Dengan demikian, pola anomali magnetik lokal di kawasan ini berasosiasi langsung dengan keberadaan pasir besi. Hal ini dapat dipahami, mengingat sifat kemagnetan mineral besi lebih dominan daripada batuan-batuan sedimen di sekitarnya.

Berdasarkan peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian, kawasan Pesisir Nusawungu 1 merupakan kawasan yang diperkirakan paling besar potensi kandungan pasir besinya. Hal ini dikaitkan dengan interval nilai anomali magnetik lokal yang cukup besar yaitu berkisar - 711,38 – 1701,84 nT. Zona yang diestimasi prospek bijih besi berada di tengah relatif ke utara dan barat, sedangkan kawasan Pesisir Nusawungu 2 diperkirakan paling kecil potensi kandungan pasir besinya. Hal ini dikaitkan dengan interval nilai anomali magnetik lokal yang cukup kecil yaitu berkisar -498,66 – 201,73 nT. Secara lengkap estimasi potensi pasir besi di seluruh daerah penelitian berdasarkan data anomali magnetik lokal dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Estimasi Potensi Pasir Besi di Seluruh Daerah Penelitian Berdasarkan Data Anomali Magnetik Lokal

No.	Kawasan Pesisir	Interval Data Anomali Lokal (nT)	Estimasi Potensi Pasir Besi
1	Pesisir Binangun 1	-541,40 – 494,34	Potensi sedang
2	Pesisir Binangun 2	-314,08 – 356,42	Potensi sedang
3	Pesisir Binangun 3	-715,80 – 1185,37	Potensi tinggi
4	Pesisir Nusawungu 1	-711,38 – 1701,84	Potensi tinggi
5	Pesisir Nusawungu 2	-498,66 – 201,73	Potensi rendah

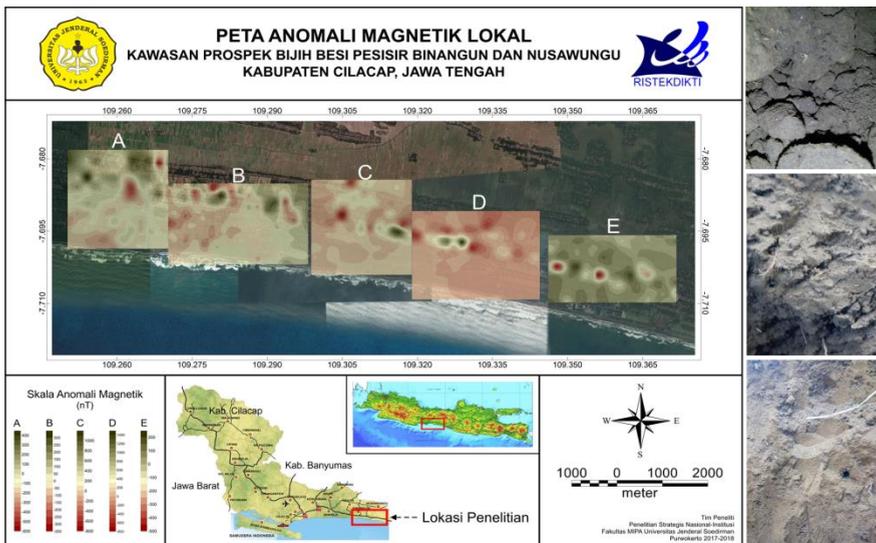
Catatan: Tinggi dan rendahnya potensi keterdapatan pasir besi didasarkan atas besar-kecilnya interval data anomali magnetik lokal karena berasosiasi secara langsung.

Estimasi potensi pasir besi di seluruh daerah penelitian sebagaimana terlihat pada **Tabel 3** hanya didasarkan atas interval nilai anomali magnetik lokal; dimana semakin besar nilai polarisasi antara anomali positif dan anomali negatif, potensi keterdapatan pasir besi semakin besar. Namun jika didasarkan atas luas areanya, maka Pesisir Binangun 1 merupakan kawasan yang mempunyai sebaran pasir besi paling luas, disusul Pesisir Binangun 2, Pesisir Binangun 3, Pesisir Nusawungu 1, dan Pesisir Nusawungu 2. Dengan demikian semakin ke arah timur luas area yang berpotensi mengandung pasir besi semakin berkurang. Di sekitar kawasan Pesisir Binangun 1 atau tepatnya di sebelah timur Pantai Widarapayung pernah dilakukan penambangan pasir besi oleh pihak tertentu, namun saat ini penambangan itu telah dihentikan. **Gambar 12** menunjukkan instalasi pemisahan pasir besi yang pernah beroperasi di kawasan pesisir ini.



Gambar 12. Kegiatan Eksploitasi dan Instalasi Pemisahan Pasir Besi yang Pernah Beroperasi di Kawasan Pesisir Binangun
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Untuk memudahkan pemetaan area yang berpotensi mengandung pasir besi di kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap, maka peta kontur anomali magnetik lokal perlu di-*overlay* dengan peta geografis yang diunduh dari aplikasi *Google Earth*. Secara lengkap peta kontur anomali magnetik lokal yang telah di-*overlay* dapat dilihat pada **Gambar 13**. Peta ini dilengkapi dengan interval nilai anomali magnetik lokal untuk masing-masing kontur, sehingga potensi keterdapatan pasir besi di kawasan tersebut dapat diperkirakan dengan mudah. Selain itu luas area yang diperkirakan prospek mengandung pasir besi dapat diestimasi secara visual.



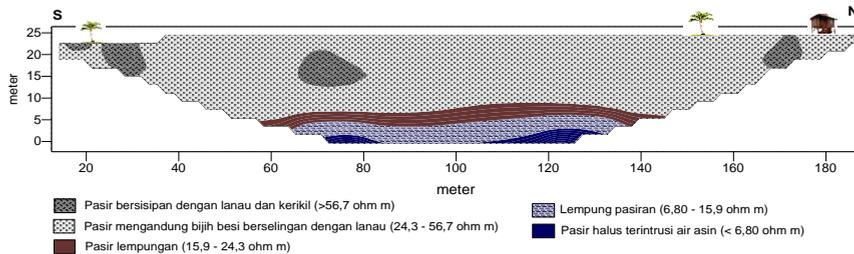
Gambar 13. Peta Kontur Anomali Magnetik Lokal Daerah Penelitian yang Di-*overlay* dengan Peta Geografis Dari *Google Earth* dan Butiran-Butiran Pasir Besi yang Tampak di Permukaan Daerah Penelitian.

Gambar 13 menunjukkan bahwa kawasan Pesisir timur Kabupaten Cilacap yang terdiri atas Pesisir Kecamatan Binangun dan Pesisir Kecamatan Nusawungu memiliki potensi sumberdaya alam pasir besi. Keberadaan pasir besi di kawasan ini memicu berbagai pihak untuk melakukan eksploitasi. Jika kegiatan eksploitasi pasir besi ini dilakukan secara masif tanpa mempertimbangkan faktor kelestarian alam, maka dikhawatirkan akan merusak lingkungan pesisir; salah satunya adalah akuifer pantai. Material pasir yang menjadi media utama akuifer menjadi hilang atau berkurang, sehingga fungsi akuifer dalam menyimpan air tanah di kawasan pesisir menjadi menurun.

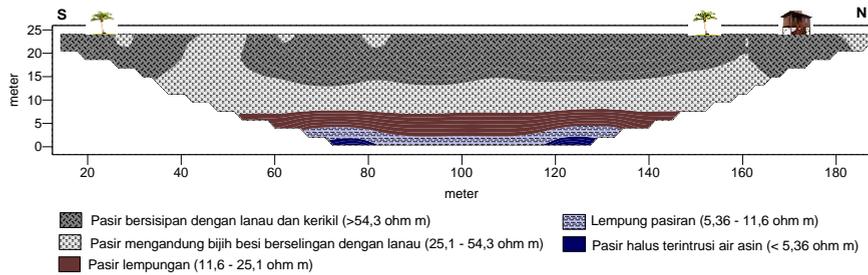
Menurut penjelasan warga, di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu belum pernah mengalami kekeringan meski ketika musim kemarau panjang. Namun kasus kekeringan pernah dialami warga dari kawasan pesisir lain; yaitu Pesisir Widarapayung Kulon Kecamatan

Binangun Kabupaten Cilacap. Kekeringan ini diduga dipicu akibat penambangan pasir besi di sepanjang pesisir desa tersebut sehingga merusak lapisan akuifer dangkal (*shallow aquifer*), yang mengakibatkan debit air berkurang. Kendati telah memasuki musim hujan, debit air sumur masih tetap kecil (*Rakyat Merdeka Online*, 2011).

Selain merusak akuifer dangkal, eksploitasi pasir besi hingga puluhan meter berpotensi memicu abrasi dan intrusi air asin. Hal ini akibat penggalian pasir besi terlalu dalam sehingga berdampak membuka lapisan akuifer dalam (*deep aquifer*) yang diperkirakan bersifat asin (Dirjen Ciptakarya, 2003). Apalagi secara umum akuifer dalam di kawasan pesisir letaknya tidak terlalu dalam, tetapi relatif dekat dengan akuifer dangkal. Hal ini diperkuat dengan hasil-hasil penelitian resistivitas 2D yang dilakukan di kawasan pesisir Nusawungu bagian barat dan timur seperti terlihat pada **Gambar 14** dan **Gambar 15** (Sehah *et.al.*, 2018).



Gambar 14. Salah Satu Penampang Resistivitas 2D Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Pesisir Barat Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap (Sumber: Sehah *et.al.*, 2018).



Gambar 15. Salah Satu Penampang Resistivitas 2D Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Pesisir Timur Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap (Sumber: Sehad *et.al.*, 2018).

Hasil-hasil penelitian yang dilakukan oleh Sehad *et.al.* (2018) menunjukkan bahwa pasir yang mengandung bijih besi berselingan dengan lanau diinterpretasi sebagai akuifer dangkal. Pasir halus terintrusi air asin diduga sebagai akuifer dalam. Kedua jenis lapisan akuifer ini hanya dipisahkan oleh lapisan pasir lempungan dan lempung pasiran yang tidak kedap. Apabila eksploitasi pasir besi dilakukan hingga menyentuh atau bahkan merusak lapisan batuan ini, maka intrusi air asin dari akuifer dalam berpotensi terjadi. Hipotesis yang berkembang bahwa pasir besi juga berfungsi sebagai filter terhadap air asin, sehingga sumur dangkal di kawasan pesisir ini tidak terasa asin. Tetapi hipotesis ini diperlukan bukti untuk menjustifikasi fungsi pasir besi dalam mengurangi potensi intrusi air asin

Selain itu, dampak negatif lain yang mungkin terjadi akibat eksploitasi pasir besi secara besar-besaran adalah abrasi. Abrasi adalah proses pengikisan pantai melalui energi gelombang laut yang bersifat merusak. Abrasi biasa disebut erosi pantai. Potensi abrasi dapat meningkat manakala eksploitasi pasir besi berlokasi di dekat atau sekitar pantai, akibat banyaknya lubang-lubang bekas penambangan. Apalagi berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sehad *et.al.* (2016) dan Sehad *et.al.* (2017)

tidak ditemukan adanya batuan keras yang berfungsi sebagai lapisan penyangga (*buffer*) di kawasan pesisir ini. Contoh kasus abrasi yang telah terjadi di kawasan pesisir ini dapat dilihat pada **Gambar 16**.

Hasil-hasil penelitian ini menghasilkan rekomendasi kepada berbagai pihak terutama pemegang usaha pertambangan pasir besi dan Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM), dimana kegiatan eksploitasi pasir besi di kawasan Pesisir Binangun dan Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap perlu dibatasi, jika diputuskan untuk dilaksanakan. Pembatasan yang dimaksud meliputi kedalaman dan zonasinya. Kedalaman eksploitasi tidak mencapai lapisan pembatas akuifer, adapun zonasinya tidak terlalu dekat dengan pantai. Selain itu pasir besi yang merupakan material utama akuifer dangkal tidak dieksploitasi habis, tetapi tetap dijaga agar fungsinya dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah di kawasan pesisir tidak terganggu.



Gambar 16. Peristiwa Abrasi Endapan *Alluvium* di Kawasan Pesisir Nusawungu Bagian Barat yang Kaya Akan Pasir Besi (Sumber: Dokumentasi Pribadi).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Investigasi potensi pasir besi di kawasan Pesisir Timur Kabupaten Cilacap dan dampak eksploitasinya berdasarkan data anomali magnetik telah dilaksanakan pada bulan Maret 2016 hingga Oktober 2017. Lokasi penelitian terdiri atas tiga kawasan di Pesisir Binangun dan dua kawasan di Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir besi berpotensi ditemukan di seluruh kawasan, dengan potensi terbesar diperkirakan terdapat di kawasan Pesisir Nusawungu 1 dan potensi terkecil diperkirakan di kawasan Pesisir Nusawungu 2. Potensi ini didasarkan atas besar-kecilnya interval nilai anomali magnetik lokal, sebab nilai anomali lokal berasosiasi langsung dengan sifat kemagnetan bijih besi. Berdasarkan hasil penelitian, nilai anomali magnetik lokal di Pesisir Nusawungu 1 berkisar antara $-711,38 - 1701,84$ nT, sedangkan di Pesisir Nusawungu 2 berkisar antara $-498,66 - 201,73$ nT.

Berdasarkan hasil penelitian, bijih besi ditemukan di lapisan pasir bersisipan dengan lanau dan kerikil yang merupakan lapisan akuifer dangkal. Oleh karena itu, eksploitasi pasir besi yang mungkin akan dilakukan harus memperhatikan faktor-faktor konservasi lingkungan pesisir, sehingga dampak terhadap kerusakan akuifer dangkal dapat diminimalisir. Dampak lainnya adalah terjadi intrusi air asin apabila eksploitasi pasir besi dilakukan melalui penggalian hingga merusak lapisan batuan pemisah antara akuifer dangkal dan akuifer dalam yang bersifat asin. Umumnya posisi akuifer dalam di kawasan pesisir tidak terlalu dalam. Selain itu, eksploitasi pasir besi yang dilakukan di dekat atau sekitar pantai dapat memicu terjadi abrasi, mengingat formasi batuan keras yang berfungsi sebagai penyangga (*buffer*) dari hantaman gelombang laut di kawasan pesisir tidak ditemukan.

4.2. Saran-Saran

Penelitian yang telah dilakukan ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga perlu disampaikan beberapa saran, yaitu:

1. Lokasi penelitian perlu diperluas ke arah utara, mengingat banyak *closure* anomali magnetik lokal yang ditemukan di bagian utara daerah penelitian. Dengan demikian hasil pemetaan sebaran dan potensi pasir besi di Pesisir Kabupaten Cilacap bagian timur menjadi lebih maksimal.
2. Untuk meningkatkan keakurasian hasil interpretasi kualitatif terhadap peta kontur anomali magnetik lokal, maka data anomali magnetik lokal perlu direduksi ke kutub (*reduction to the pole*) sehingga sebaran pasir besi bisa tergambar langsung di bawah *closure-closure* anomali magnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2015. *Potensi Energi dan Sumberdaya Mineral*. Kadin Bussines Center Cilacap (KBBC), Kamar Dagang dan Industri Kabupaten Cilacap. Website: <http://kadincilacap.or.id>. Diakses 09 November 2015.
- Anonim. 2018. *Manfaat pada Pasir Besi*. Terra Concrete Perkasa. Website: <http://www.terraconblock.com>. Diakses 15 Juli 2019.
- Asikin, S., Handoyo, A., Prastistho, B. 1992. *Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Blakely R.J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. New York: Cambridge University Press.
- Burhani, R. 2017. *Cadangan Pasir Besi di Cilacap Menurun*. Website: <http://www.antaranews.com>. Diakses 12 Desember 2017.
- Deng, L., Jiang, W., Chen, H., Zhu, Z., Zhao, W. 2017. Study of The Effects on GPS Coordinate Time Series Caused by Higher – Order Ionospheric Corrections Calculated Using The Dipole Model. *Geodesy and Geodynamics*, Vol. 8.
- Dirjen Cipta Karya. 2003. *Peta Potensi Indikasi Air Tanah dan Daerah Irigasi Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Herman, D. Z. 2005. Kegiatan Pemantauan dan Evaluasi Konservasi Sumberdaya Mineral Daerah Kabupaten Cilacap, Propinsi Jawa Tengah. *Kolokium Hasil Lapangan*. DIM. Hal 48-1 – 48-16.
- Jatmika, J., Widanarto, W., Effendi, M. 2014. Pengaruh Suhu Sintering terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Material Mn-Zn Ferit. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng dan DIY*. 26 April 2014.
- Li, Y., and Oldenburg, D. W. 1998. Separation of Regional and Residual Magnetic Field Data. *Geophysics*, Vol. 63, No. 2, pp. 431 – 439.
- Lukhovich A. A., Shukevich, A. K., Morozov, I. M., Kremen'kova, N. V., Sharando, V. I., and Bulatov, O. V. 2003. Magnetic Method of Testing the Distribution of Properties over the Depth. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, Vol. 39, No. 9, pp. 665 – 669.

- Macmillan, S., and Maus, S. 2005. International Geomagnetic Reference Field – The Tenth Generation. *Earth Planets Space*, Vol. 57, No.1, pp. 1135 – 1140.
- Mariita, N. O. 2007. *The Magnetic Method*. Presented at Short Course II on Surface Exploration for Geothermal Resources. UNU-GTP and KenGen, at Lake Naivasha. Kenya. 2 – 17 November 2007.
- Rakyat Merdeka Online. 2011. *Pasir Besi Ditambang, Krisis Air Tawar Mengancam*. Edisi Kamis 17 November 2011.
- Rivas J. 2009. Gravity And Magnetic Methods. *Paper*. Presented at Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources. Organized by UNU-GTP and LaGeo in Ahuachapan and Santa Tecla. El Salvador. 17 – 30 October 2009.
- Sehah, Raharjo, S. A., and Kurniawan, M. A. 2016. Distribution of Iron Sand in the Widarapayung Coast Area at Regency of Cilacap Based on Magnetic Anomaly Data. *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol. 06, No. 02, pp. 97 – 106.
- Sehah, Raharjo, S. A., and Andriyanto, I. 2017. Exploration of Iron Sand at The Eastern Coastal of Binangun in Cilacap Regency Using Magnetic Survey. *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol. 7, No. 2, pp. 71 – 81.
- Sehah, Irayani, Z., dan Sewiji, S. 2018. Investigasi Intrusi Air Asin Berdasarkan Profil Resistivitas-2D di Kawasan Prospek Bijih Besi Pesisir Nusawungu Kabupaten Cilacap Jawa Tengah. *Jurnal Fisika FLUX*, Vol. 15, No. 2, hal. 128 – 138.
- Sehah, Raharjo, S. A., dan Vikramdani, M. 2018. Karakteristik Akuifer di Kawasan Prospek Bijih Besi Pesisir Desa Karangtawang Kecamatan Nusawungu Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Resistivitas-2D. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, Vol. 16, No. 3, hal. 195 – 204.
- Stella E. M. S, and David, F. A. 2015. Regional Magnetic Field Trend and Depth to Magnetic Source Determination from Aeromagnetic Data of Maijuju Area, North Central, Nigeria. *Physical Science International Journal*, Vol. 8, No.3, pp. 1-13.
- Telford W. M., Gedaart L. P., and Sheriff R. E. 1990. *Applied Geophysics*. New York: Cambridge.

SELAYANG PANDANG PERSAMAAN *DIOPHANTINE* *NONLINEAR* EKSPONENSIAL

Agus Sugandha

Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno 61 Karangwangkal Purwokerto, Jawa Tengah, 53123
email: agussugandha1974@gmail.com

Abstrak. Tulisan ini membahas sedikit perkembangan penelitian teori bilangan pada bidang persamaan *Diophantine nonlinear* ekponensial. Hal ini berawal ketika Fermat (1637) membuat dugaan bahwa persamaan Fermat $x^n + y^n = z^n$ tidak memiliki solusi untuk $n \geq 3$. Sayangnya Fermat tidak memberikan bukti tersebut. Inilah yang memicu kontroversi ahli Matematika pada saat itu. Raksasa ahli matematika pada waktu itu berusaha membuktikan teorema Fermat terakhir tersebut. Akan tetapi ratusan tahun lamanya, belum ada yang sanggup memberikan pembuktiannya. Akhirnya pada tahun 1993 Andrew Wiles seorang guru besar matematika universitas Princeton Inggris mampu membuktikan teorema Fermat terakhir tersebut dengan menggunakan fungsi eliptik. Teorema terakhir Fermat inilah yang merupakan cikal bakal penelitian persamaan *Diophantine nonlinear*.

Kata kunci: persamaan Diophantine non linear eksponensial, teorema terakhir fermat

Abstract. *This paper discusses a little development of number theory research in the field of exponential non linear Diophantine equation. This began when Fermat (1637) assumed that the Fermat equation $x^n + y^n = z^n$ has no solution for $n \geq 3$. Unfortunately Fermat did not provide such evidence. This is triggered the controversy of mathematicians at the time. The Mathematical giant on the act tried to prove Fermat's last theorem. But hundreds of years, no one has been able to provide proof. Finally in 1993 Andrew Wiles a professor of mathematics from Princeton University in England was able to prove the last theorem of Fermat by using elliptic functions and modular forms. Last Fermat theorem is the forerunner to the study of the non linear Diophantine equation.*

Keywords: *exponential non linear Diophantine equation, last Fermat theorem*

*Objek Fisika murni adalah penyingkapan hukum alam yang
dapat dipahami;
Objek Matematika murni adalah mengungkap hukum
kecerdasan manusia.*

J. J. SYLVESTER

1. PENDAHULUAN

Sebelum membahas perkembangan penelitian di bidang Persamaan *Diophantine Nonlinear* Eksponensial, akan sangat penting terlebih dahulu membahas Persamaan *Diophantine Linear*, Teorema Fermat Terakhir dan sekilas sejarahnya. Sangat menarik mengikuti kisah dari Fermat yang menemukan teorema terakhirnya yang menyita perhatian matematikawan besar saat itu, sehingga tidak berlebihan bila Fermat dinyatakan sebagai Bapak Teori Bilangan. Tentu saja termasuk perjuangan dan pergulatan Andrew J Wiles membuktikan teorema terakhir Fermat. Selain agar mempunyai pandangan yang utuh dan kronologis, juga dapat memotivasi dan menginspirasi kita untuk selalu memiliki motivasi yang baik.

Persamaan *Diophantine Linear* merupakan suatu persamaan polinomial berderajat 1 yang memiliki koefisien bilangan bulat tidak nol. Bentuk umum dari persamaan *Diophantine Linear* dengan 2 variabel adalah $ax + by = c$ dengan $a, b, c \in Z$ dan $a, b \neq 0$. Atau bisa dinyatakan sebagai $ax \equiv b \pmod{m}$. Jika Persamaan *Diophantine Linear* memiliki solusi, maka solusinya adalah pasangan bilangan bulat x dan y yang memenuhi persamaan $ax + by = c$. Persamaan *Diophantine Linear* $ax + by = c$ mempunyai solusi jika dan hanya jika d/c , dengan

$d = (a, b)$. Jika x_0, y_0 merupakan solusi khusus dari $ax + by = c$ maka solusi lainya diberikan oleh:

$$x = x_0 + \left(\frac{b}{d}\right)t \text{ dan } y = y_0 - \left(\frac{a}{d}\right)t, \text{ dengan } t \text{ bilangan bulat}$$

Metode standar yang digunakan untuk mencari solusi dari persamaan *Diophantine Linear* adalah dengan menggunakan algoritma Euclidean. Pada hakekatnya terdapat tiga kemungkinan solusi yang berkaitan dengan Persamaan *Diophantine Linear* yaitu solusinya tunggal, banyak solusi atau tidak mempunyai solusi.

2. PEMBAHASAN

2.1 Teorema Fermat Terakhir (*Last Fermat Theorem*)

Seperti yang sudah kita ketahui sejak sekolah menengah pertama bahwa ada banyak solusi tak terhingga dari persamaan diophantine $x^2 + y^2 = z^2$, dengan x, y , dan z adalah bilangan bulat positif. Solusi tersebut dikenal dengan triple Pythagoras. Sekarang pertanyaanya adalah apakah persamaan $x^3 + y^3 = z^3$ dapat dipecahkan dengan x, y , dan z bilangan bulat positif. Atau bagaimana dengan $x^4 + y^4 = z^4$? Secara lebih umum, apakah persamaan diophantine $x^n + y^n = z^n$ dapat dipecahkan dengan bilangan x, y , dan z bulat positif, dengan $n \geq 3$?

Fermat, sekitar tahun 1637, menduga bahwa persamaan Fermat $x^n + y^n = z^n$ tidak memiliki solusi untuk $n \geq 3$. Sayangnya, Fermat tidak mengkonfirmasi dugaan tersebut dengan bukti. Bahkan, dalam Claude Bachet de Méziriac (1581–1638) terjemahan bahasa Latin *Diophantus 'Arithmetica*, Fermat berkomentar bahwa dia telah “menemukan bukti yang sangat indah tentang hal ini, tetapi kertasnya terlalu kecil untuk menampung tulisannya.”

Tidak diketahui secara persis apakah Fermat memang punya bukti, atau apakah karena menyadari kompleksitas pembuktiannya sehingga menulis komentar untuk menantang ahli matematika pada waktu itu dan masa depan. Akan tetapi dengan melihat reputasi Fermat banyak ahli matematika yang meyakini bahwa dia memiliki bukti tersebut. "Reputasi Fermat akan kebenaran harus menjadi bukti kuat karena diyakini ia memiliki bukti. Hanya sekali dia ditemukan salah," tulis Beiler dalam bukunya *Recreations in Theory of Numbers*. Tidak adanya bukti dugaan Fermat selama lebih dari tiga abad tetap menjadikan dugaan tersebut dikenal sebagai Teorema Fermat Terakhir (*Last Fermat Theorem*).

Pada 1770, Euler memberikan bukti pertama dari Teorema Terakhir Fermat untuk kasus $n = 3$, tetapi buktinya mengandung sedikit celah. Itu kemudian disempurnakan oleh Legendre. Fermat sendiri memberikan bukti untuk kasus $n = 4$, menggunakan *Method of Infinite Descent*. Sekitar tahun 1825, Dirichlet dan Legendre, mengembangkan *Method of Infinite Descent* dari Fermat membuktikan untuk $n = 5$. Sekitar empat belas tahun kemudian, Lamé menetapkan dugaan untuk $n = 7$.

Pada tahun 1823 dan kemudian pada tahun 1850, Akademi Sains di Paris menawarkan hadiah untuk bukti yang benar. Sayangnya, ini menghasilkan gelombang ribuan kegagalan pada bidang matematika. Berikutnya hadiah ditawarkan pada tahun 1883 oleh *Academy of Brussels*. Ahli matematika Jerman David Hilbert (1862-1943) berkomentar, "Sebelum memulai, saya harus belajar intensif selama tiga tahun, dan saya tidak punya banyak waktu untuk menyalakan kemungkinan kegagalan."

Pada 1908, dokter Jerman dan ahli matematika amatir F. Paul Wolfskehl memberikan 100.000 Mark pada Akademi Ilmu Pengetahuan Göttingen yang akan ditawarkan sebagai hadiah sebagai bukti lengkap dari

Teorema Fermat Terakhir. Akibatnya, dari tahun 1908-1911, banjir lebih dari 1000 bukti yang salah disajikan. Menurut sejarawan matematika Howard Eves, "*Fermat's Last Theorem* menjadi masalah matematika dengan jumlah bukti salah terbesar yang pernah diterbitkan."

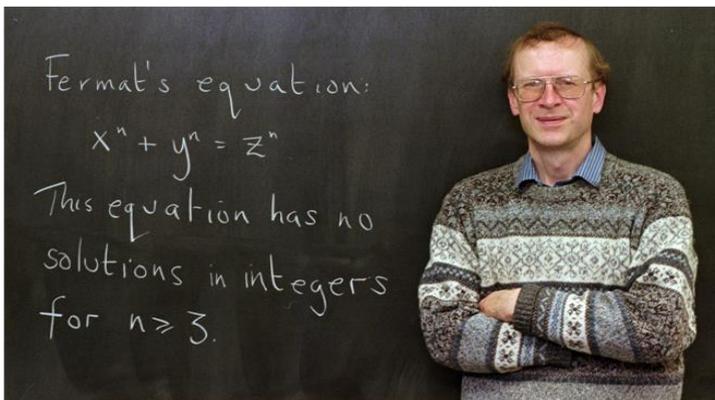
2.2 Tembok Batu Besar Itupun Runtuh (Wiles Versus Fermat)

Akhirnya, pada Juni 1993, tembok batu besar itupun mulai runtuh. Ahli matematika Inggris Andrew Wiles dari Universitas Princeton mengumumkan pada konferensi teori bilangan di Universitas Cambridge, Inggris, bahwa ia telah memecahkan Teorema Terakhir Fermat menggunakan fungsi eliptik dan bentuk modular. Berita itu ditanggapi dengan sangat serius sehingga membuat halaman depan *The New York News* dan diliput oleh *Time and Newsweek*, dan *NBC Nightly News*. Penemuan itu menyebabkan Wiles disebut sebagai salah satu dari "25 orang paling penting tahun ini" di Majalah *People*.

Lima bulan kemudian, kekeliruan bukti terdeteksi yang diperbaiki pada Oktober 1994. Penemuan Wiles begitu luar biasa sehingga pada tahun 1997 *British Broadcasting Company* (BBC) memproduksi *The Proof*, sebuah film dokumenter televisi yang menginspirasi dan ditayangkan juga di Amerika Serikat. Dalam film tersebut, Wiles menggambarkan tujuh tahun pergulatannya yang tanpa henti, sendirian di lotengnya untuk membuktikan Teorema Fermat Terakhir sebagai berikut, "Mungkin saya bisa menggambarkan pengalaman matematika saya dalam hal perjalanan melalui sebuah rumah yang gelap yang belum dijelajahi. Anda memasuki ruang pertama anda tersandung menabrak meja, kursi atau lemari, tetapi secara bertahap Anda belajar dan mengetahui di mana masing-masing letak meja, kursi atau lemari. Akhirnya, setelah sekitar enam bulan, Anda menemukan sakelar lampu, Anda menyalakannya, dan tiba-tiba semuanya menyala. Anda dapat melihat persis di mana Anda berada".

Setelah menyelesaikan hasrat masa kecilnya dan meraih ketenaran dunia, ia menyimpulkan pada akhir film bahwa perjalanan akhirnya berakhir: “Ada rasa sedih tertentu, tetapi pada saat yang sama ada rasa pencapaian yang luar biasa. Ada juga rasa kebebasan. Saya sangat terobsesi dengan masalah ini sehingga saya memikirkannya sepanjang waktu”. “Ketika saya bangun di pagi hari, ketika saya pergi tidur di malam hari dan itu berlangsung selama delapan tahun. Itu waktu yang lama untuk memikirkan satu hal. Perjalanan khusus itu sudah berakhir. Pikiranku sekarang tenang”.

Prestasi monumental Wiles telah mengilhami beberapa buku dan video. Lebih penting lagi, seperti yang ditulis R. K. Guy dalam Masalah yang Tidak Terpecahkan di Teori Bilangan, "Teorema Fermat Terakhir menghasilkan pengukuhan besar dari matematika yang baik, apakah kebaikan tersebut dipahami sebagai keindahan, kedalaman, ataupun penerapannya."



Gambar 1. Prof. Andrew Wiles, Profesor Matematika Universitas Princeton Inggris

2.3 Konjektur Beal

Pada tahun 1994, jutawan Texas dan matematikawan Andrew Beal, pendiri, pemilik, dan ketua Bank Beal di Dallas, membaca di sebuah

surat kabar lokal tentang bukti Wiles untuk Teorema Fermat Terakhir. Dia kemudian menduga bahwa persamaan $x^m + y^n = z^r$ tidak memiliki solusi positif, dimana $\gcd(x, y, z) = 1$ dan eksponen $m, n, r \geq 3$. Jika dugaan Beal dapat dikukuhkan, maka Teorema Terakhir Fermat akan mengikutinya sebagai akibat wajar yang menarik.

Beal pada tahun 1908, telah menawarkan hadiah uang tunai sebesar \$ 50.000 kepada orang pertama untuk menyelesaikan masalahnya. Hadiah ini dimaksudkan untuk memotivasi komunitas matematika dan untuk meningkatkan dugaan Beal ke tingkat dugaan asli Fermat. Beal membentuk komite dari tiga ahli matematika terkemuka, yang dipimpin oleh R. Daniel Mauldin dari *University of North Texas*, untuk menyaring bukti dugaan yang diajukan oleh calon pemenang hadiah. Sejak itu, hadiah telah ditingkatkan menjadi \$ 100.000. Hadiah akan diberikan oleh *The American Mathematical Society*, yang menyimpan uang hadiah. Dugaan Beal menciptakan peluang baru dan dinding batu yang lebih sulit untuk menantang komunitas matematika. Jika masa lalu merupakan indikasi, maka mengatasi itu bisa menjadi tugas yang panjang dan sulit.

2.4 Konjektur Catalan

Seperti dalam kasus dengan persamaan Fermat, jika salah satu eksponen dalam persamaan Beal adalah 1 atau 2, maka ia memiliki solusi. Dua solusi tersebut diberikan oleh $1^1 + 2^3 = 3^2$ dan $2^5 + 7^2 = 3^4$. Yang pertama dari kedua persamaan ini adalah **relasi Catalan**. Akhirnya diberi nama **Konjektur Catalan**, yang menduga bahwa $8 = 2^3$ dan $9 = 3^2$ adalah satu-satunya selisih pangkatnya adalah 1 artinya persamaan *Diophantine* $x^m - y^n = 1$ dengan $m, n \geq 2$, memiliki tepat satu solusi: $x = 3, y = 2$ dan $m = 2, n = 3$.

2.5 Persamaan *Diophantine Nonlinear*

Tidak dapat dipungkiri bahwa Teorema Fermat Terakhir merupakan cikal bakal penelitian tentang persamaan Diophantine Non Linear. Setiap persamaan Diophantine yang tidak linear disebut dengan Persamaan *Diophantine Nonlinear*. Sebagai contoh $x^2 + 3y^3 = 35$. Ini adalah Persamaan *Diophantine Nonlinear* polinomial. Sampai sejauh ini tidak ada metode yang benar-benar baku (*text book*) dalam menyelesaikan persamaan *Diophantine Nonlinear* polinomial dan eksponensial. Akan tetapi dari hasil penelitian-penelitian yang telah dipublikasikan, penyelesaiannya biasanya menggunakan metode konjektur Catalan, kekongruenan, fraksi kontinu atau persamaan Pell.

Banyak penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan menentukan solusi persamaan *Diophantine Nonlinear* eksponensial. Chotchaisthit (2012) meneliti persamaan *Diophantine* $p^x + (p+1)^y = z^2$, dengan x , y , dan z adalah bilangan bulat non-negatif serta p adalah bilangan prima Mersenne dan hasilnya memiliki dua solusi yaitu $(p, x, y, z) = (7, 0, 1, 3)$ dan $(3, 2, 2, 5)$.

Sroysang (2012) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $3^x + 5^y = z^2$, hasilnya memiliki solusi tunggal yaitu $(x, y, z) = (1, 0, 2)$. Pada tahun yang sama, Sroysang (2012) juga meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $31^x + 32^y = z^2$, hasilnya tidak memiliki solusi. Satu tahun berselang, Sroysang (2013) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $7^x + 8^y = z^2$, dan hasilnya memiliki solusi tunggal yaitu $(x, y, z) = (0, 1, 3)$. Masih di tahun yang sama, Sroysang (2013) meneliti

persamaan *Diophantine Nonlinear* $2^x + 3^y = z^2$, dan hasilnya memiliki tiga solusi yaitu $(x, y, z) = (0, 1, 2)$, $(3, 0, 3)$, dan $(4, 2, 5)$.

Simtrakankul (2014) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $(2^k - 1)^x + (2^k)^y = z^2$, dengan k adalah bilangan bulat genap positif dan hasilnya untuk $k = 2$ memiliki dua solusi yaitu $(x, y, z) = (1, 0, 2)$ dan $(2, 2, 5)$, sedangkan untuk $k \geq 4$ hasilnya memiliki solusi tunggal yaitu $(x, y, z) = (1, 0, 2^{\frac{k}{2}})$. Rabago (2016) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $2^x + 17^y = z^2$, dan hasilnya memiliki lima solusi yaitu $(x, y, z) = (3, 1, 5)$, $(5, 1, 7)$, $(6, 1, 9)$, $(7, 3, 71)$, dan $(9, 1, 23)$.

Sugandha *et al.* (2018) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $11^x + 13^y = z^2$ tidak memiliki solusi dengan menggunakan sifat kekongruenan. Setahun kemudian Sugandha *et al.* (2019a) meneliti Persamaan *Diophantine Nonlinear* $13^x + 31^y = z^2$ tidak memiliki solusi dengan menggunakan sifat kekongruenan. Masih di tahun 2019, Sugandha *et al.* (2019b) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $p^x + (p+5)^y = z^2$ dengan p bilangan prima Mersene, dengan menggunakan konjektur Catalan diperoleh $(3, 0, 1, 3)$ dan $(3, 1, 0, 2)$ merupakan solusinya. Terakhir, Tripena *et al.* (2019) meneliti persamaan *Diophantine Nonlinear* $(5^k - 1)^x + (5^k)^y = z^2$ dengan k bilangan positif genap.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan beserta hasil-hasilnya, maka penelitian yang bisa dikembangkan dan menjadi tantangan berikutnya (penelitian lanjutan) adalah menentukan syarat yang harus dipenuhi agar persamaan *Diophantine Nonlinear* eksponensial mempunyai solusi (tunggal atau banyak) atau tidak memiliki solusi beserta cara mencari solusinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Acu, D. 2007. On the Diophantine Equation $2^x + 5^y = z^2$. *General Mathematics*, Vol. 15, No. 4, pp. 145-148.
- Burton, D. M. 2007. *Elementary Number Theory*. Sixth Edition. New York: Mc Graw-Hill Companies, Inc.
- Koshy, T. 2007. *Elementary Number Theory with Applications*. USA: Elsevier Inc.
- Mihailescu, P. 2004. Primary Cyclotomic Units and a Proof of Catalan's Conjecture. *Journal Reine Angew Mathematics*, Vol. 27, pp. 167-195.
- Rahmawati, R. Sugandha, A., Tripena, A., and Pabowo, A. 2019. Solution to Non-Linear Diophantine Equation $(7^k - 1)^x + (7^k)^y = z^2$ with k is Positive Even Integer. *IOP Conference Series: Journal of Physic* 1179, 012001 IOP Publishing.
- Chotchaisthit, S. 2015. On the Diophantine Equation $4^x + p^y = z^2$. *International Journal of Pure Applied Mathematics*, Vol. 81, No. 4, pp. 1-4.
- Simtrakankul, C. 2014. On the Diophantine Equation $(2^k - 1)^x + (2^k)^y = z^2$. *International Journal of Pure Applied Mathematics*, Vol. 94, No. 1, pp. 65-69.
- Sroysang, B. 2012. On the Diophantine Equation $3^x + 5^y = z^2$. *International Journal of Pure Applied Mathematics*, Vol. 81, No. 4, pp. 605-608.
- Sroysang, B. 2013. On the Diophantine Equation $2^x + 3^y = z^2$. *International Journal of Pure Applied Mathematics*, Vol. 84, No. 2, pp. 133-137.
- Sugandha, A., Tripena, A., Prabowo, A., and Sukono, F. 2018. Nonlinier Diophantine Equation $11^x + 13^y = z^2$. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 332, 012004. IOP Publishing.
- Sugandha, A., Tripena, A., and Prabowo, A. 2019a. Nonlinier Diophantine Equation $13^x + 31^y = z^2$. *IOP Conference Series: Journal of Physic* 1179, 012002 IOP Publishing.

- Sugandha, A., Tripena, A., and Prabowo, A. 2019b. Solution to Non-Linear Diophantine Equation $p^x + (p+5)^y = z^2$ with p is Mersenne Prime. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol. 8, Issue 2s7.
- Tripena, A., Sugandha, A., and Prabowo, A. 2019. Solution to Non-Linear Diophantine Equation $(5^k - 1)^x + (5^k)^y = z^2$ with k is Positive Even Integer. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol. 8, Issue 2s7.

POTENSIAL PASANGAN RHODIUM(III)-AIR BERDASARKAN METODE PERHITUNGAN *AB INITIO*

Ponco Iswanto¹, Ria Armunanto², dan Harno Dwi Pranowo²

¹Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno 61 Karangwangkal Purwokerto, Jawa Tengah, 53123.

²Austrian-Indonesian Centre for Computational Chemistry (AIC), Jurusan
Kimia,

Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

*email: poncoiswanto@gmail.com*¹

Abstrak. Fungsi potensial pasangan ion Rh^{3+} - H_2O telah disusun berdasarkan perhitungan mekanika kuantum *ab initio*. Kerja ini dilakukan dengan menggunakan model kimia 1 ion Rh^{3+} dan 1 molekul H_2O yang diinteraksikan pada berbagai jarak ion Rh^{3+} - H_2O . Pemilihan himpunan basis dan tingkat teori perhitungan *ab initio* telah dikerjakan sebagai tahap pertama pekerjaan, kemudian energi interaksi ion Rh^{3+} - H_2O dihitung pada berbagai jarak ion Rh^{3+} - H_2O berdasarkan data tahap pertama dan potensial pasangan disusun sebagai tahap akhir pekerjaan ini. Lebih dari 3.500 nilai energi interaksi telah digunakan dalam penyusunan potensial pasangan ion Rh^{3+} - H_2O . Potensial pasangan ion Rh^{3+} - H_2O yang merupakan pengembangan potensial interaksi 2 partikel *Lennard-Jones* bermanfaat pada kerja simulasi komputer ion Rh^{3+} di dalam sistem larutan.

Kata kunci: potensial pasangan, *ab initio*, Rhodium(III), himpunan basis, energi interaksi

Abstract. *Pair potential function of Rh^{3+} - H_2O was constructed based on quantum mechanical *ab initio* calculation method. This work was conducted by using a model which consists of 1 Rh^{3+} ion and 1 H_2O molecule which are interacted at various distance of Rh^{3+} - H_2O . As the first step of work, suitable basis set and *ab initio* theory level was selected. After that, interaction energies of Rh^{3+} ion-water were calculated and finally, pair potential was constructed. More than 3,500 points of Rh^{3+} - H_2O interaction energies were used in pair potential construction. As the development of 2-particle-Lennard-*

Jones potential, Rh³⁺-H₂O pair potential could be applied in computer simulation of Rh³⁺ ion in aqueous solution.

Keywords: *pair potential, ab initio, Rhodium(III), basis set, interaction energy.*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi komputer memberikan kontribusi positif pada perkembangan ilmu pengetahuan termasuk Ilmu Kimia, hingga melahirkan cabang ilmu yang dikenal dengan Kimia Komputasi (Jensen, 1999). Penelitian kimia komputasi telah banyak dilakukan seperti pemodelan molekul, perancangan senyawa baru, prediksi sifat spektroskopi suatu senyawa, dan simulasi sistem larutan (Armunanto dkk., 2003). Simulasi sistem larutan dengan komputer dilakukan untuk membantu masalah keterbatasan alat dalam mengakses gerakan molekul yang sangat cepat hingga skala *femtosecond* (10^{-15} detik) (Rode, 2006).

Simulasi sistem larutan dengan komputer telah dilakukan untuk model sistem ion logam di dalam pelarut air dan amoniak. Zat terlarut berupa anion okso juga telah disimulasikan dengan pelarut air. Hasil simulasi komputer dapat melengkapi informasi tentang struktur solvasi dan dinamika (gerakan) molekul yang terjadi di dalam sistem larutan, yang tidak dapat diamati melalui cara eksperimen. Ragam simulasi komputer untuk sistem larutan ada dua yaitu Simulasi Monte Carlo (MC) dan Dinamika Molekular (DM). Simulasi MC menghasilkan struktur paling stabil dari model sistem sedangkan DM selain struktur juga dapat memberikan informasi dinamika pertukaran ligan pada lapisan solvasi yang terjadi pada sistem (Azam dkk., 2009). Simulasi DM memasukkan variabel waktu dalam proses simulasi sedangkan MC tidak (Armunanto dkk, 2003).

Salah satu bagian yang menentukan kualitas hasil simulasi komputer untuk sistem larutan adalah fungsi potensial pasangan (PP) interaksi antara zat terlarut-pelarut (*solute-solvent pair potential*). Potensial total dapat dituliskan menjadi:

$$V = \sum_i v_1(r_i) + \sum_i \sum_{j>i} v_2(r_i, r_j) + \sum_i \sum_{j>i} \sum_{k>j>i} v_3(r_i, r_j, r_k) \quad (1)$$

Simbol V adalah potensial interaksi total, v_1 hingga v_3 secara berurutan adalah potensial medan eksternal (untuk partikel tunggal), potensial pasangan dan potensial 3-badan. Jika sistem mengandung partikel bermuatan, maka Persamaan (1) ditambah satu suku lagi yaitu interaksi Coulombik antar muatan (Allen, 1991):

$$v^{zz}(r_{ij}) = \frac{z_i \cdot z_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \quad (2)$$

Fungsi PP untuk simulasi komputer harus memiliki beberapa kriteria di antaranya kurva energi interaksi terhadap jarak zat terlarut-pelarut mengikuti kurva potensial 2 partikel Lennard-Jones, dalam penyusunannya berdasarkan hasil perhitungan metode yang berakurasi tinggi. Kriteria lain yang penting adalah tidak terjadi transfer muatan pada interaksi zat terlarut-pelarut. Fungsi PP bersifat spesifik, sangat dipengaruhi oleh jenis zat terlarut dan pelarutnya (Armunanto dkk., 2004). Penelitian ini dilakukan untuk menyusun fungsi PP ion Rh^{3+} - H_2O berdasarkan metode perhitungan mekanika kuantum *ab initio*. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk simulasi komputer sistem larutan ion Rh^{3+} di dalam pelarut air. Hasil simulasi komputer ion Rh^{3+} di dalam air dapat memberikan data reaktivitas ion Rh^{3+} untuk pengembangan senyawa koordinasi berbasis ion Rh^{3+} .

Senyawa berbasis ion Rh^{3+} memiliki banyak manfaat sebagai katalis dan senyawa aktif biologi sehingga penting untuk dikembangkan. Senyawa-senyawa koordinasi Rhodium(III) telah dibuat dan beberapa diantaranya memiliki efek biologi. Sebagai contoh telah dilakukan penelitian yang menggunakan satu seri senyawa (19 senyawa) kompleks Rhodium(III) berbilangan koordinasi 6 untuk mengevaluasi aktivitas mutagenetik terhadap *E. Coli* K12 dan *Salmonella Typhimurium*. Contoh lain senyawa kompleks Rh(III) yang bersifat toksik terhadap gen adalah K_2RhCl_5 dan $(\text{NH}_4)_3\text{RhCl}_6$ (Knottnerus, 2002).

2. ALAT, BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat

Peralatan yang digunakan terbagi menjadi perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunak yang digunakan adalah *Gaussian98* dan *Turbomole 5.1* yang dapat dijalankan pada sistem operasi linux untuk menghitung energi interaksi pasangan ion $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ melalui metode mekanika kuantum *ab initio*. Paket program fitting energi interaksi untuk menyusun persamaan potensial pasangan. Perangkat keras yang digunakan adalah *Processor* Intel Pentium 4, RAM 256 MB dan *Hardisk drive* 40 GB.

2.2 Bahan

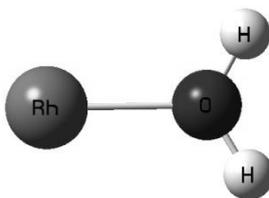
Penelitian ini adalah penelitian teoretik yang menggunakan koordinat konfigurasi 1 ion Rh^{3+} dan 1 molekul H_2O .

2.3 Metode

2.3.1 Pemilihan Himpunan Basis

Pemilihan himpunan basis yang sesuai untuk ion logam transisi seperti ion Rh^{3+} harus dilakukan sebagai konsekuensi penggunaan metode perhitungan *ab initio*. Himpunan basis DZP Dunning telah ditetapkan untuk molekul air berdasarkan penelitian sebelumnya (Armunanto dkk., 2003). Pemilihan himpunan basis dilakukan terhadap seluruh kandidat himpunan basis untuk ion Rh^{3+} hasil rekomendasi dari alamat situs pencarian himpunan basis unsur Rh yaitu <http://www.emsl.pnl.gov/forms/basisform.html>.

Tiap *himpunan* basis digunakan untuk menghitung energi interaksi ion Rh^{3+} - H_2O pada variasi jarak ion Rh^{3+} dengan atom O molekul H_2O (Rh^{3+} -O) yaitu 1,8 – 12 Å. Interval 0,2 diterapkan untuk jarak 1,8 – 4 Å dan interval 1 angstrom untuk jarak 4 – 12 Å. Teknik perhitungan ini dikenal dengan nama skan 2-badan.



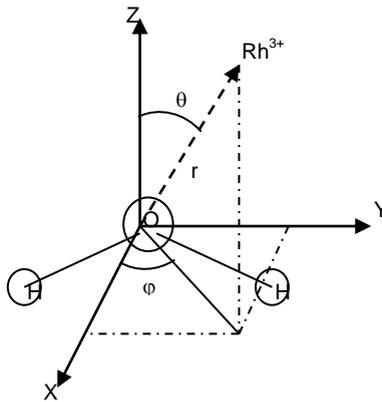
Gambar 1. Model Kompleks 1 Ion Rh^{3+} (Bola Biru) dan 1 H_2O (Bola Merah-Putih) untuk Perhitungan Energi Interaksi 2-Badan

Nilai energi interaksi dihitung dengan metode perhitungan *ab initio* pada tingkat teori Hartree-Fock, muatan sistem = +3 dan multiplisitas spin = 1.

Kurva plot energi interaksi ion $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ terhadap jarak $\text{Rh}^{3+}\text{-O}$ dibuat untuk tiap kandidat himpunan basis. Seleksi himpunan basis dilakukan dengan mencocokkan kurva energi interaksi terhadap jarak dengan kurva potensial interaksi 2 partikel Lennard-Jones. Himpunan basis terpilih adalah himpunan basis dengan kurva paling mirip dengan kurva Lennard-Jones (Yagule dkk., 2001).

2.3.2 Penyusunan Fungsi Potensial Pasangan

Himpunan basis terpilih digunakan untuk menghitung nilai (titik) energi interaksi pada variasi jarak dan sudut pada kompleks $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$. Sebanyak lebih dari 3500 titik energi interaksi $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ dihitung dengan metode perhitungan *ab initio* pada tingkat teori Hartree-Fock. Hasil perhitungan energi interaksi $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ digunakan dalam penyusunan persamaan potensial pasangan $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$.



Gambar 2. Orientasi Ion Rh^{3+} terhadap Molekul H_2O . Titik-Titik Energi Dihitung Berdasarkan Variasi Nilai r , θ dan φ

3. PEMBAHASAN

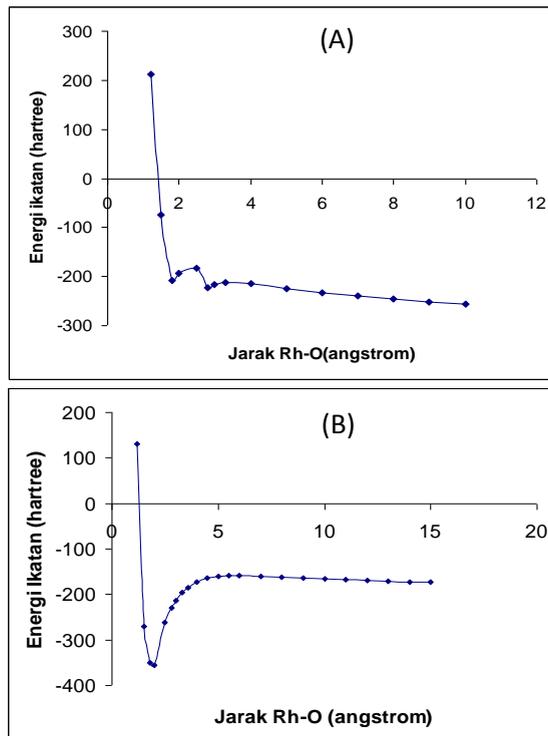
3.1 Pemilihan Himpunan Basis

Himpunan basis yang tersedia di alamat situs adalah himpunan basis yang menggambarkan orbital-orbital atom atau unsur tak bermuatan, sehingga himpunan basis yang cocok untuk interaksi ion $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ harus ditentukan. Himpunan basis yang digunakan untuk molekul air adalah DZP Dunning karena telah terbukti mampu menghasilkan data sifat molekul air yang mendekati nilai percobaan (Armunanto dkk., 2003). Langkah pertama pemilihan himpunan basis untuk ion Rh^{3+} adalah dipilih himpunan basis yang mengandung komponen *Effective Core Potential* (ECP). Komponen ECP digunakan untuk ion-ion logam transisi yang memiliki nomor atom tinggi. Elektron-elektron yang ada di orbital dalam dimodelkan sebagai potensial efektif, sehingga hanya elektron valensi yang secara rinci dikenai proses perhitungan (Jensen, 1999). Penelitian sebelumnya membuktikan penggunaan komponen ECP pada himpunan basis ion logam transisi mampu mengurangi durasi perhitungan sehingga biaya komputasi dapat direduksi (Armunanto dkk., 2003).

Langkah kedua, hasil plot energi interaksi ion $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ terhadap jarak Rh-O dicocokkan dengan kurva potensial 2 partikel Lennard-Jones. Kurva yang dihasilkan banyak yang tidak sesuai dengan kurva potensial Lennard-Jones. Data ini diakibatkan oleh peristiwa transfer muatan yang selalu terjadi pada intreaksi antara ion logam bervalensi tinggi dengan molekul air. Efek transfer muatan menyebabkan nilai energi semakin jauh dari nilai nol seiring jarak antar partikel yang semakin jauh (Gambar 3). Upaya untuk menyelesaikan masalah transfer muatan pada ion bervalensi tinggi adalah dengan memodifikasi himpunan basis seperti yang telah dilakukan pada penelitian simulasi DM ion Fe^{3+} di dalam air. Modifikasi

himpunan basis dilakukan dengan menghapus orbital atom yang memiliki nilai eksponen lebih kecil dari 0,5 (Remsungnen dkk., 2004).

Hasil penerapan himpunan basis SBKJC VDZ ECP termodifikasi untuk ion Rh^{3+} memberikan kurva yang paling mirip dengan kurva potensial Lennard-Jones. Data ini menandakan bahwa himpunan basis SBKJC VDZ ECP termodifikasi adalah himpunan basis yang mampu menggambarkan orbital elektron untuk ion Rh^{3+} . Keuntungan lain yang diperoleh dari penerapan himpunan basis SBKJC VDZ ECP termodifikasi adalah durasi perhitungan yang relatif cepat dibanding himpunan basis yang berukuran besar. Cara pemilihan ini mengacu kepada penelitian yang memilih himpunan basis untuk ion Fe^{3+} (Remsungnen dkk., 2004).



Gambar 3. Salah Satu Kurva yang Menandakan Adanya Eek Transfer Muatan pada Himpunan Basis LANL2DZ ECP (A). Kurva Himpunan Basis SBKJC VDZ ECP yang Mendekati Kurva Potensial Lennard-Jones

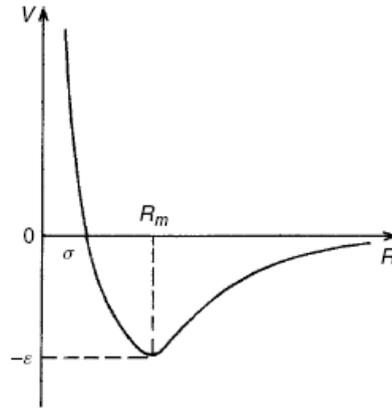
3.2 Penyusunan Fungsi Potensial Pasangan

Titik-titik energi dihitung berdasarkan himpunan basis terpilih dan menggunakan tingkat teori Hartree-Fock. Tingkat teori ini dipilih karena telah terbukti memiliki akurasi yang mendekati tingkat teori perhitungan paling tinggi seperti CCSD (Azam dkk., 2009). Penggunaan tingkat teori Hartree-Fock juga mampu menurunkan biaya komputasi pekerjaan ini (Rode, 2006).

Fungsi PP ion Rh^{3+} - H_2O disusun sebagai langkah awal sebelum simulasi ion Rh^{3+} di dalam air dilakukan untuk menggambarkan interaksi antara ion Rh^{3+} dengan molekul H_2O di dalam kotak simulasi. Fungsi PP yang dihasilkan dari penelitian ini merupakan pengembangan fungsi PP Lennard-Jones agar mampu mengakomodasi interaksi 2 molekul pada kotak simulasi yang terdiri dari banyak molekul. Mirip dengan fungsi PP Lennard-Jones, fungsi PP yang disusun terdiri dari 2 suku utama yaitu suku tarikan dan suku tolakan antar molekul.

Fungsi PP yang dihasilkan harus memiliki koefisien suku tolakan (r^{-12}) bernilai positif, seperti suku tolakan pada potensial Lennard-Jones (Remsungnen dkk., 2004). Jumlah fungsi PP yang dihasilkan ada dua jenis karena pada molekul H_2O terdapat 2 jenis unsur yaitu atom O dan H. Interaksi antara ion Rh^{3+} dengan atom O digambarkan melalui fungsi PP Rh^{3+} -O dan interaksi ion Rh^{3+} dengan atom H digambarkan dengan fungsi PP Rh^{3+} -H (Armunanto dkk., 2003). Bentuk umum fungsi PP hasil pengembangan dari potensial Lennard-Jones adalah

$$\Delta E_{fit}^{2bd} = \sum_{i=1}^3 \frac{q_M q_i}{r_{Mi}} + \frac{A_i}{r_{Mi}^a} + \frac{B_i}{r_{Mi}^b} + \frac{C_i}{r_{Mi}^c} + \frac{D_i}{r_{Mi}^d} \quad (3)$$



$$V(R) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{R} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{R} \right)^6 \right]$$

Gambar 4. Kurva dan Persamaan Potensial Lennard-Jones 12-6. Nilai ϵ adalah Potensial (V) Paling Minimum yang Terjadi pada Jarak (R) Sebesar R_m . Nilai $V = 0$ Terjadi pada Jarak Sebesar σ (Kaplan, 2006)

Fungsi ini terdiri dari dua fungsi utama, pertama adalah suku kolombik (suku pertama), kedua adalah suku non-kolombik (suku kedua dan seterusnya). Simbol ΔE_{fit} adalah potensial pasangan hasil fitting, q_M adalah muatan ion Rh^{3+} , q_i adalah muatan atom O atau H, r_{Mi} adalah jarak antara ion Rh^{3+} dengan atom O atau H. Simbol A, B, C dan D adalah koefisien fungsi jarak pada bagian non-kolombik. Simbol a, b, c dan d adalah bilangan pangkat fungsi ($1/r$).

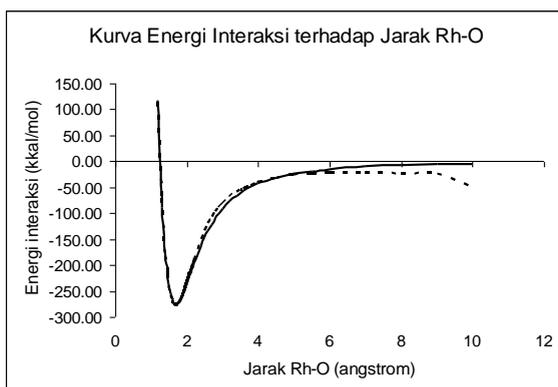
Fungsi PP ion Rh^{3+} -H₂O yang diperoleh berdasarkan perhitungan mekanika kuantum ab initio adalah

$$\Delta E_{fit}^{2bd} = \sum_{i=1} \frac{q_{Rh} \cdot q_O}{r_{Rh-O}} - \frac{6545,5901}{r^5} + \frac{121395,9372}{r^9} - \frac{389055,6565}{r^{11}} + \frac{283813,1667}{r^{12}} \quad (4)$$

$$\Delta E_{fit}^{2bd} = \sum_{i=1} \frac{q_{Rh} \cdot q_H}{r_{Rh-H}} - \frac{5755,2017}{r^4} + \frac{12433,4712}{r^5} - \frac{4392,0941}{r^6} + \frac{45932,0437}{r^{12}} \quad (5)$$

Persamaan (4) adalah fungsi PP $\text{Rh}^{3+}\text{-O}$ dan persamaan (5) adalah fungsi PP $\text{Rh}^{3+}\text{-H}$. Suku non-kolombik kedua fungsi PP ini merupakan pengembangan fungsi PP Lennard-Jones 6-12 sehingga terdiri pula atas suku tarikan dan suku tolakan. Suku tarikan adalah suku r^{-5} , r^{-9} , r^{-11} pada fungsi PP $\text{Rh}^{3+}\text{-O}$ dan suku r^{-4} , r^{-5} , r^{-6} pada fungsi PP $\text{Rh}^{3+}\text{-H}$. Suku tolakan yang harus memiliki koefisien positif adalah suku r^{-12} pada persamaan (4) dan (5) (Armunto dkk., 2003).

Plot energi terhadap jarak $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ untuk fungsi PP hasil penelitian juga harus menghasilkan kurva yang mirip dengan kurva potensial Lennard-Jones 6-12, sehingga dapat digunakan untuk menggambarkan interaksi $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ di dalam kotak simulasi. Fungsi PP $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ hasil perhitungan *ab initio* memberikan kurva yang mirip dengan kurva potensial Lennard-Jones 12-6 (Gambar 5).



Gambar 5. Kurva Aplikasi Himpunan Basis SBKJC VDZ ECP Termodifikasi (ion Rh^{3+}) dan DZP Dunning (H_2O), Data Perhitungan Energi SCF (Titik-Titik) dan Hasil *Fitting* (Garis Penuh)

Plot nilai energi terhadap jarak ion $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ memberikan informasi bahwa fungsi PP $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ yang disusun melalui penelitian ini mendekati kurva Lennard-Jones 12-6. Kurva yang sama juga

diperoleh pada penelitian sebelumnya yang menyusun fungsi PP untuk $\text{Fe}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ (Remsungnen dkk., 2004).

4. KESIMPULAN

Penyusunan fungsi potensial pasangan $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ berdasarkan perhitungan mekanika kuantum *ab initio* dapat dilakukan dengan menggunakan himpunan basis SBKJC VDZ ECP termodifikasi untuk ion Rh^{3+} dan DZP Dunning untuk molekul H_2O . Fungsi potensial pasangan yang dihasilkan mampu menggambarkan interaksi ion $\text{Rh}^{3+}\text{-H}_2\text{O}$ sesuai dengan data percobaan interaksi dua partikel, sehingga dapat diterapkan di dalam kotak simulasi komputer untuk sistem larutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada *Austrian-Indonesian Centre for Computational Chemistry (AIC)* di Jurusan Kimia, Universitas Gadjah Mada, Indonesia dan *Theoretical Chemistry Institute (TCI)* di University of Innsbruck, Austria.

DAFTAR PUSTAKA

- Jensen, F. 1999. *Introduction to Computational Chemistry*. Canada: John Wiley & Sons.
- Armunanto, R., Schwenk, C. F., Setiaji, A. H. B. and Rode, B. M. 2003. Classical and QM/MM Molecular Dynamics Simulations of Co^{2+} in Water. *Chem. Phys.*, 295, 63-70.
- Rode, B. M. and Hofer, T. S. 2006. How to Access Structure in Solution with Simulation. *Pure Appl. Chem.*, 78, 525-539.
- Azam, S. S., Hofer, T. S., Bhattacharjee, A., Lim, L. H. V., Pribil, A. B., Randolph, B. R. and Rode, B. M. 2009. Beryllium (II): the Strongest Structure-Forming Ion in Water? A QMCF MD Simulation Study. *J. Phys. Chem B.*, 113, 9289-9295.
- Allen, M. P. and Tildesley, D. J. 1991. *Computer Simulation of Liquid*. Oxford: Clarendon Press.
- Armunanto, R., Schwenk, C. F., Tran, H. T. and Rode, B. M. 2004. Structure and Dynamics of Au^+ Ion in Aqueous Solution: ab initio QM/MM MD Simulations. *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 2582.
- Knottnerus, J. A. 2002. *Rhodium and Compounds*. A Committee of The Health Council of The Netherlands. Den Haag.
- Kaplan, I. G. 2006. *Intermolecular Interactions: Physical Picture, Computational Methods and Model Potentials*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Yagule, J. I., Mohammed, A. M., Loeffler, H. and Rode, B. M. 2001. Classical and Mixed Quantum Mechanical/Molecular Mechanical Simulation of Hydrated Manganous Ion. *J. Phys. Chem. A.*, 105, 7646-7650.
- Remsungnen, T. and Rode, B. M. 2004. Molecular Dynamics Simulation of the Hydration of Transition Metal Ions: the Role of non-Additive Affects in the Hydration Shells of Fe^{2+} and Fe^{3+} Ions. *Chem. Phys. Lett.*, 385, 491 – 497.

EKSPLORASI MATEMATIKA DALAM RANAH BUDAYA JAWA

Agung Prabowo

Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno 61 Karangwangkal Purwokerto, Jawa Tengah, 53123
email: *agung.prabowo@unsoed.ac.id* ; *agung_nghp@yahoo.com*

Bangsa yang beradab adalah bangsa yang bermatematika.
(Agung Prabowo)

Bangsa yang lebih beradab adalah bangsa yang
bermatematika dengan angka nol.
(Agung Prabowo)

Abstrak. Kehidupan bangsa Indonesia telah diwarnai dengan penggunaan matematika dalam praktik kehidupan sehari-hari. Mereka mengembangkan pengetahuan praktis matematika yang dapat disebut sebagai Matematika Jawa. Matematika Jawa dapat diberi pengertian sebagai berikut: pengetahuan matematika yang telah digunakan oleh para leluhur pada masa lalu dan beberapa di antaranya masih terus digunakan hingga hari ini. Penelusuran Matematika Jawa merangkum pengetahuan mengenai sejarah matematika, etnomatematika, dan model matematika. Dalam artikel ini diungkap berbagai praktik matematika dalam masyarakat Jawa, termasuk Sunda meliputi 1) Statistik Bencana dalam Pararaton, (2) Angka Kuadrat di Candi Suku, (3) Candi Suku sebagai Kerajaan Sengkala Memet, (4) Numismatika Sengkala Memet, (5) Kalender Aboge (*Alif Rebo Wage*) di Cikakak, (6) Penentuan Nama Hari Lahir, (7) Sengkala lamba penanda berdirinya Kabupaten Banyumas, Unsoed, dan UNS serta pelaksanaan Senamantra, (8) Matematika dalam Primbon Pernikahan Jawa, dan (9) Matematika dalam masyarakat agraris.

Kata kunci: etnomatematika, matematika Jawa, model matematika.

Abstract. *Indonesia's life has been stained with the use of mathematics in everyday life practices. They develop practical knowledge of mathematics that can be called as Javanese Mathematics. Javanese mathematics can be given the definition: the mathematical knowledge that has been used by ancestors in the past and some of them still continue to be used today. Java Mathematics search summarizes knowledge about the history of mathematics, ethnomatematics, and mathematical models. In this article, there are various mathematical practices in Javanese society, including Sunda society which includes: (1) disaster statistics in Pararaton; (2) Square number in Suku temple; (3) Suku Temple as the kingdom of sengkala memet; (4) numismatics of sengkala memet; (5) Aboge (Alif Rebo wage) Calendar; (6) naming of birthdays; (7) sengkala lamba as the founding of Banyumas district, Unsoed, UNS, and Senamantra; (8) mathematics in Javanese marriage; and (9) mathematics in agrarian society.*

Keywords: *ethnomathematics, Javanese mathematics, mathematical models.*

1. PENDAHULUAN

Kondisi bangsa Indonesia saat negara ini masih dalam bentuk kerajaan-kerajaan. Kehidupan bangsa Indonesia telah diwarnai dengan penggunaan matematika dalam praktik kehidupan sehari-hari. Leluhur kita telah mengamati perjalanan benda-benda langit sehingga hari yang tujuh (*saptawara*) dinamai dengan *soma* (bulan), *anggara* (mars), *buda* (merkurius), *wrahaspati* (jupiter), *sukra* (venus), *tumpak* (saturnus), dan *radite* (matahari). Leluhur kita telah mencatat perubahan cuaca dan iklim sehingga pertanian diatur dengan pranatamangsa.

Di samping itu, leluhur kita telah menulis *Negarakertagama* (*Desawarnana*) sehingga perjalanan '*njajah desa milang kori*' yang dilakukan Hayam Wuruk ditulis dengan kronogram Jawa yang disebut

sengkala lamba. Leluhur kita telah menulis *Pararaton* untuk merekam data-data bencana dengan *sengkala lamba*.

Leluhur kita telah membangun Candi Suku yang mengawetkan lambang bilangan. Para sejarawan menyebutnya angka Kuadrat. Candi Suku juga menyimpan kronogram Jawa dalam bentuk *sengkala memet* dan *sengkala lamba*. Leluhur kita telah mengamati pergerakan bulan di langit sehingga orang-orang di Cikakak, Wangon hingga hari ini masih terus mengabadikan kalender Aboge untuk menentukan awal puasa, Idul Fitri dan Idul Adha serta perayaan tradisi *Rwanda Bojana*.

Semua hal tersebut di atas memerlukan matematika. Termasuk angka 0. Hal inilah yang memotivasi untuk mengeksplorasi kandungan matematika dalam ranah budaya, khususnya budaya Jawa hingga diperoleh Matematika Jawa.

Matematika Jawa dapat diberi pengertian sebagai berikut: pengetahuan matematika yang telah digunakan oleh para leluhur pada masa lalu dan beberapa di antaranya masih terus digunakan hingga hari ini. Penelusuran Matematika Jawa merangkum pengetahuan mengenai sejarah matematika, etnomatematika, dan *ethnomathematics modelling*. Boleh jadi, selama masih ada orang Jawa, maka Matematika Jawa akan tetap ada. Pada bagian akhir artikel ini dicantumkan daftar pustaka yang merekam karya-karya seputar Matematika Jawa, baik yang dipublikasikan dalam bentuk buku, artikel, hak cipta ataupun karangan populer. Sebagai catatan, daftar pustaka yang terdaftar tidak serta-merta muncul sebagai kutipan dalam isi tulisan.

2. PEMBAHASAN

Dalam tulisan ini akan dibahas sembilan pencapaian matematika dalam ranah budaya Jawa, meliputi: (1) Statistik bencana dalam *Pararaton*, (2) Angka Kuadrat di Candi Suku, (3) Candi Suku sebagai Kerajaan

sengkala memet, (4) Numismatika *sengkala memet*, (5) Kalender Aboge (*Alif Rebo Wage*) di Cikakak, (6) Penentuan nama hari lahir, dan (7) *Sengkala lamba* penanda berdirinya Kabupaten Banyumas, Unsoed, dan UNS serta pelaksanaan senamantra, dan (8) Matematika dalam primbon perjodohan Jawa (*math and mate in Javanese primbon*), dan (9) Matematika dalam masyarakat agraris.

2.1 Statistik Bencana

Pascal adalah pencipta teori peluang dan teori peluang adalah cikal bakal statistika. Sebelum Pascal menemukan teori peluang, *Pararaton* telah rampung ditulis, pada tahun 1613 M. Apa hubungan *Pararaton* dengan Pascal? *Pararaton* telah merekam statistik (data) tentang bencana alam pada jaman Majapahit, sebelum Pascal melahirkan teori peluang. Angka tahun akhir penulisan *Pararaton* dilacak melalui penyandian angka tahun dalam bentuk *sengkala lamba* *Wisaya (5) Guna (3) Bayuning (5) Wong (1)*. Dari penyandian tersebut diperoleh angka tahun 1535 Saka. Konversi dalam kalender Masehi menjadi 1613 M.

Pararaton tidak hanya bercerita tentang Ken Arok, Ken Dedes Sang Ardhnareswari, intrik politik, pengkhianatan, balas dendan, perebutan kekuasaan, suksesi berdarah akibat kutukan Mpu Gandring dan kekuatan magis dari tuah *ardhanareswari*, hingga perang saudara. *Pararaton* juga merekam data-data bencana. Berikut adalah bentuk-bentuk bencana alam yang terjadi pada masa Majapahit dan tertulis dalam *Pararaton*:

1. *guntur pabanyu pindah* (gunung meletus disertai berpindahnya aliran sungai);
2. *pagunung anyar* (gunung baru);
3. *guntur* (gunung meletus);
4. *lindu* (gempa bumi);
5. *pahilan agung* (kelaparan berkepanjangan).

Cara penulis *Pararaton* menuangkan data-data statistika menempuh metode yang berbeda, yaitu dalam bentuk penyandian yang disebut *sengkala lamba*. Meskipun terdapat perbedaan, penyandian ini dapat disamakan dengan kronogram. *Sengkala lamba* adalah angka tahun yang tidak ditampilkan dalam bentuk angka, tetapi dinyatakan dengan kalimat. Kata-kata yang menyusun kalimat tersebut menyatakan nilai bilangan tertentu yang disebut watak bilangan. Struktur Angka Tahun pada *sengkala lamba* adalah:

kata pertama	kata kedua	kata ketiga	kata keempat
satuan (<i>ekan</i>)	puluhan (<i>dasan</i>)	ratusan (<i>atusan</i>)	ribuan (<i>ewon</i>)

Gambar 1. Cara Pembacaan Angka Tahun pada Sengkala Lamba

Statistik bencana dalam *Pararaton* tercatat mulai 1311-1481 M atau selama 170 tahun. Rekaman data statistik bencana disajikan dalam bentuk *sengkala lamba*. Berikut ini adalah contoh-contoh penyandian angka tahun dalam *Pararaton* yang berbentuk *sengkala lamba* dan merupakan data-data statistik terkait berbagai jenis bencana alam yang terjadi pada masa Majapahit. Tidak ada tsunami dan likuifaksi!

1. *Guntur-pabanyu-pindah* berupa dua peristiwa berkesinambungan yaitu gunung meletus yang berakibat berpindahnya aliran sungai. Kronogram Jawa yang digunakan sebagai penanda *guntur pabanyu pindah* adalah *Retu Cara Ina* yang menyatakan tahun 1256 Saka = 1334 M. Selisih antara tahun Saka dengan Tahun Masehi adalah 78 tahun.

<i>Retu</i> (6)	<i>Cara</i> (5)	<i>Ina</i> (12)
satuan	puluhan	ratusan

2. *Pagunung anyar* berarti terbentuknya gunung baru akibat luapan lumpur. Pengulangan *pagunung anyar* di jaman modern adalah LUSI: Lumpur Sidoarjo. *Pagunung Anyar* (1298 S/1376 M) ditandai dengan kronogram (*sengkala lamba*) *Naga Leng Karnaning Wong* yang menyatakan tahun 1298 Saka

<i>Naga</i> (8)	<i>Leng</i> (9)	<i>Karnaning</i> (2)	<i>Wong</i> (1)
satuan	puluhan	ratusan	ribuan

3. Perseteruan Ratu Suhita dengan penguasa Blambangan (Bhre Wirabhumi) diakhiri Perang Paregreg (1328 S/1406 M) ditandai dengan *sengkala lamba Naga Loro Nahut Wulan*, menyatakan tahun 1328 Saka.

<i>Naga</i> (8)	<i>Loro</i> (2)	<i>Nahut</i> (3)	<i>Wulan</i> (1)
satuan	puluhan	ratusan	ribuan

Kata-kata dalam *sengkala lamba* dipilih yang sesuai dengan makna peristiwa yang diperingati. *Sengkala lamba Naga Loro Nahut Wulan* menggambarkan peristiwa dua naga (Suhita dan Wirabhumi) yang saling berebut (*nahut*) kekuasaan. Pesona *wulan* (bulan) digunakan untuk menggambarkan gemerlapnya kekuasaan.

4. *Pahilan agung* (kekurangan pangan yang berkepanjangan) tahun 1426 M ditandai dengan kronogram *Naga Yuga Anahut Wong*, menyatakan tahun 1348 Saka.

<i>Naga</i> (8)	<i>Yuga</i> (4)	<i>Anahut</i> (3)	<i>Wong</i> (1)
satuan	puluhan	ratusan	ribuan

Secara harfiah, *naga yuga anahut wong* berarti naga jaman menggigit orang. Inilah jaman (masa) ketika orang saling memangsa. Perampokan, pencurian, kebiadaban dan lain-lain meraja lela. Tiada hari tanpa kejahatan. Orang mati terbunuh dianggap biasa.

Thomas Stamford Raffles juga mengangkat sengkala lamba dalam bukunya yang berjudul *The History of Java*. Berikut ini beberapa contoh yang semuanya dinyatakan dalam tahun Saka.

<i>Sirna</i> (0)	<i>Ilang</i> (0)	<i>Kertaning</i> (4)	<i>Bumi</i> (1)
satuan	puluhan	ratusan	ribuan
<i>Kaya</i> (3)	<i>Wulan</i> (1)	<i>Putri</i> (3)	<i>Iku</i> (1)
satuan	puluhan	ratusan	ribuan
<i>Wisaya</i> (5)	<i>Rasa</i> (6)	<i>Toya</i> (4)	<i>Wasitan</i> (1)
satuan	puluhan	ratusan	ribuan

2.2 Angka Kuadrat Kediri dari Scriptorium Suku

Candi Suku merupakan museum alam yang menyimpan informasi mengenai bentuk-bentuk angka yang pernah digunakan di Indonesia. Bentuk angka yang terdapat di Candi Suku disebut angka Kuadrat Kediri, sesuai dengan nama aksaranya.

Dalam tradisi nusantara, bentuk-bentuk angka diambil dari bentuk aksara sehingga angka disebut sebagai aksara-angka. Jika suatu angka ditulis dalam rangkaian kalimat, untuk membedakannya digunakan suatu tanda sebelum dan sesudah penulisan angkanya. Dalam masa sekarang,

tanda tersebut seperti tanda petik dua "...". Penggunaan tanda tersebut tidak ditemukan apabila angka ditulis terpisah dari rangkaian kata.

Salah satu contoh bentuk angka Kuadrat Kediri diberikan pada Gambar 2. Angka yang dinyatakan adalah 1361. Pada Gambar 2, suatu prasasti dengan aksara Kuadrat Kediri dituliskan di atas angka tersebut. Penulisan angka-angka nusantara didasarkan pada sistem desimal (basis 10) dengan nilai tempat paling kanan adalah satuan sehingga 1361 dibaca seribu tiga ratus enam puluh satu.



Gambar 2. Angka Kuadrat Kediri Menyatakan Tahun 1361 Saka

Dari berbagai temuan angka-angka tahun di Candi Suku, dapat direkonstruksi bentuk digit-digit angka yang digunakan. Rekonstruksi tersebut tidak menghasilkan 10 buah digit angka, namun apabila ditambahkan dengan prasasti-prasasti lain yang ditulis dengan aksara Kuadrat Kediri, diperoleh 10 buah digit angka Kuadrat Kediri (Gambar 3).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>tunggal, siki</i>	<i>rwa</i>	<i>salu, tiga</i>	<i>pat, papat</i>	<i>lima</i>	<i>enam</i>	<i>pitu</i>	<i>wawalu uwalu</i>	<i>sanga</i>	<i>das</i>

Gambar 3. Bentuk Angka Kuadrat Kediri

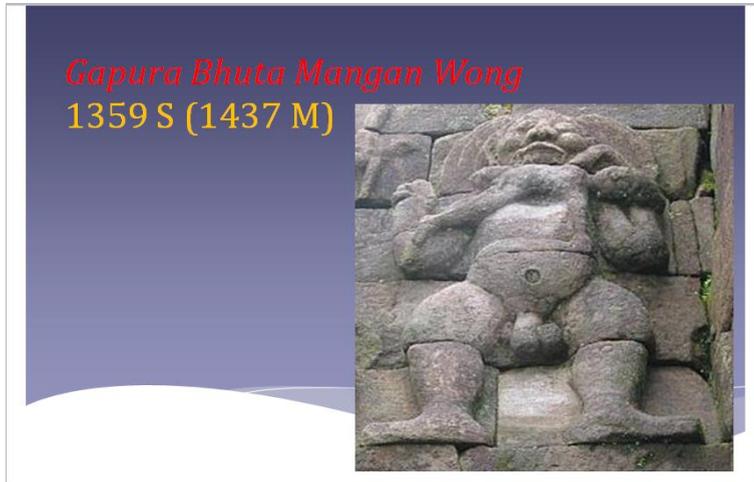
2.3 Sengkala Memet dari Scriptorium Suku

Sengkala memet adalah angka tahun yang tidak ditampilkan dalam bentuk angka tetapi dalam bentuk ornamen, benda, atau lukisan. Dari ornamen tersebut dapat ditentukan *sengkala lamba*-nya dalam bentuk kalimat sehingga angka tahunnya dapat diketahui.

Begitu banyaknya *sengkala memet* yang terdapat di Candi Suku, maka candi tersebut dapat disebut sebagai Kerajaan *Sengkala Memet*. Berikut ini adalah *sengkala memet-sengkala memet* yang dapat ditemukan di Candi Suku (Gambar 4 sampai dengan Gambar 9). Pada setiap gambar, ditampilkan pembacaan *sengkala lamba*-nya. Dari *sengkala lamba* tersebut, dapat diketahui angka tahun yang dinyatakan dengan kalender Saka. Untuk memperoleh angka tahun pada kalender Masehi, tambahkan dengan 78. Sebagai contoh, untuk Gambar 5 *sengkala memet* berupa ornamen berbentuk raksasa (*bhuta*) yang sedang makan (*mangan*) manusia (*wong*). *Sengkala memet* tersebut terletak di pintu gerbang (*gapura*) masuk Candi Suku sehingga pembacaan *sengkala lamba*-nya menjadi *Gapura Bhuta Mangan Wong*. Berdasarkan struktur angka tahun pada *sengkala lamba* (Gambar 1), diperoleh angka tahun 1359 Saka (1437 M). Lihat Gambar 4 dan Gambar 5.

Gapura (9) Bhuta (5) Mangan (3) Wong (1)
 satuan (*ekan*) puluhan (*dasan*) ratusan (*atusan*) ribuan (*ewon*)

Gambar 4. Angka Tahun pada *Sengkala Lamba Gapura Bhuta Mangan Wong*



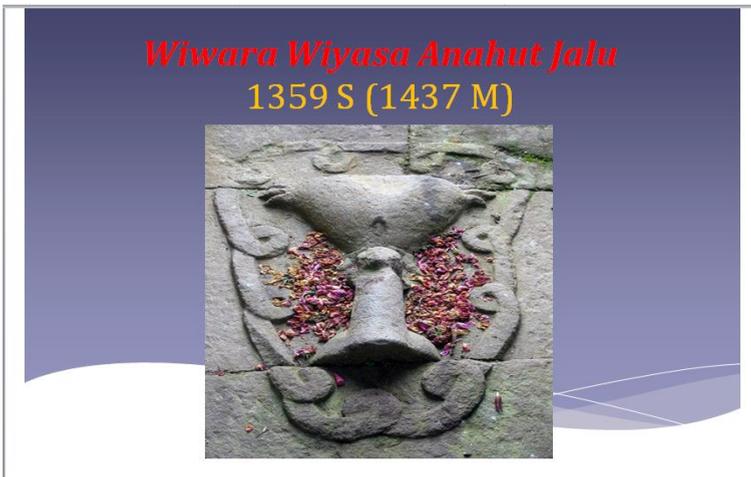
Gambar 5. *Sengkala Memet A* dengan Pembacaan *Sengkala Lamba Gapura Bhuta Mangan Wong* (1359 S/1437 M)



Gambar 6. *Sengkala Memet B* dengan Pembacaan *Sengkala Lamba Gapura Bhuta Anahut Buntut* (1359 S/1437 M)



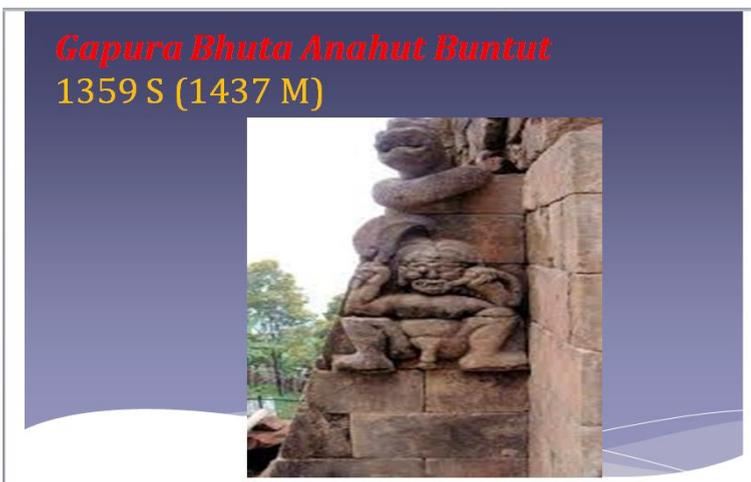
Gambar 7. Sengkala Memet dengan Pembacaan Sengkala Lamba Buntut Naga Sinahut Kaga (1381 S/1459 M)



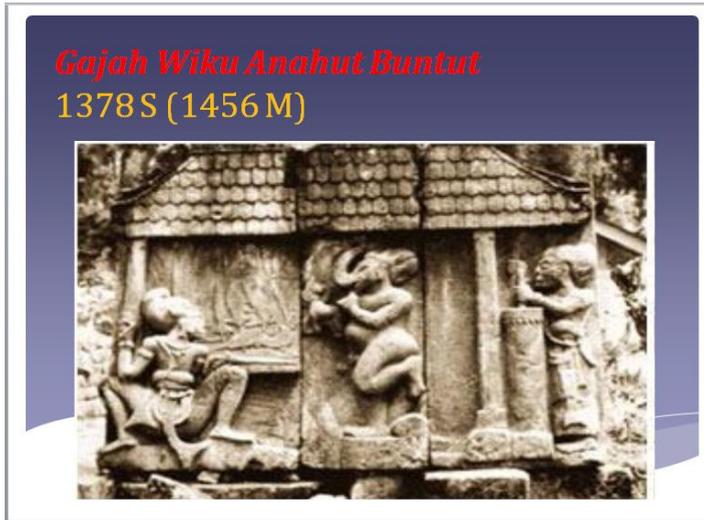
Gambar 8. Sengkala Memet dengan Pembacaan Sengkala Lamba Wiwara Wiyasa Anahut Jalu (1359 S/1437 M)



Gambar 9. Sengkala Memet C dengan Pembacaan Sengkala Lamba Gapura Bhuta Anahut Buntut (1359 S/1437 M)



Gambar 10. Sengkala Memet D dengan Pembacaan Sengkala Lamba Gapura Bhuta Anahut Buntut (1359 S/1437 M)



Gambar 11. *Sengkala Memet* dengan Pembacaan *Sengkala Lamba Gajah Wiku Anahut Buntut* (1378 S/1456 M)

Pada umumnya, *sengkala memet* di Candi Sukuh ditemukan pada bagian pintu masuk (*gapura* atau *wiwara*) sehingga pembacaan *sengkala lamba*-nya mengusung kata *gapura* atau *wiwara*. Namun, terdapat sebuah pahatan yang belum dipastikan oleh para sejarawan bahwa pahatan tersebut merupakan suatu *Sengkala Memet* (Gambar 12). Melihat bentuk pahatannya, terdapat kemiripan dengan bentuk pahatan pada beberapa *sengkala memet*. Oleh karenanya, patut diduga bahwa pahatan tersebut juga suatu *Sengkala Memet*. Pada pahatan tersebut juga terdapat angka tahun yang dipahat dengan bentuk angka Kuadrat Kediri.



Gambar 12. *Sengkala Memet* dengan Pembacaan *Sengkala Lamba Suta Bhuta Anahut Buntut* (1361 S/1438 M) dan Angka Kuadrat Kediri 1363 S/1440 M

2.4 Numismatika *Sengkala Memet*

Sengkala memet juga ditemukan pada koin mata uang. Cukup banyak mata uang yang ornamennya berupa *sengkala memet*. Namun, terdapat kesulitan untuk mengidentifikasi pembacaan *sengkala lamba*-nya.

Numismatika adalah ilmu mengenai mata uang. Pada masa sekarang ini, setiap mata uang baik logam maupun kertas selalu disertai dengan angka tahun pembuatannya. Pada masa lalu, angka tahun pembuatan suatu mata uang dapat ditengarai melalui ornamen pada mata uang tersebut. Mata uang yang demikian menjadi suatu bentuk *sengkala memet*.

Salah satu contoh mata uang yang ornamennya dipastikan merupakan *sengkala memet* diberikan pada Gambar 13. Dengan demikian, mata uang tersebut dikeluarkan pada tahun 1568 Jawa. Informasi lebih lengkap mengenai mata uang yang merupakan *sengkala memet* dapat

ditemukan pada buku Thomas Stamford Rafless, berjudul *The History of Java*.



Gambar 13. Mata Uang berupa *Sengkala Memet* dengan Pembacaan *Sengkala Lamba Naga Obah Wisaya Janma* (1568 J)

2.5 Kalender/Penanggalan *Aboge*

Penanggalan *Aboge* (*Alif Rebo Wage*) pada dasarnya merupakan penanggalan Jawa yang dimulai sejak 1 Sura 1555 Jawa. Perbedaannya, penanggalan *Aboge* berhenti pada kuruf ketiga, sedangkan penanggalan Jawa bersambung terus hingga kuruf-kuruf berikutnya. Penanggalan inilah yang digunakan oleh masyarakat *Aboge* yang berislam dengan caranya sendiri.

Ciri khas masyarakat *Aboge* adalah mereka menggunakan penanggalan *Aboge* dalam seluruh aktifitas kehidupannya, termasuk penentuan hari-hari besar keagamaan, seperti Maulid Nabi, awal Puasa, Idul Fitri dan Idul Adha (Gambar 14). Penanggalan *Aboge* juga digunakan untuk penentuan saat (waktu) pelaksanaan upacara-upacara tradisi. Dengan demikian, penanggalan *Aboge* difungsikan untuk dua hal yaitu perayaan

yang sifatnya religi dan tradisi. Hal ini berbeda dengan masyarakat Islam lainnya yang menggunakan dua jenis penanggalan untuk dua fungsi yang berbeda. Penanggalan Hijriyah digunakan untuk menentukan perayaan hari-hari besar keagamaan dan penanggalan Jawa digunakan untuk menentukan perayaan tradisi.



Gambar 14. Suasana Idul Fitri Masyarakat *Aboge* di Desa Cikakak, Kecamatan Wangon, Banyumas

Komponen Kalender *Aboge* adalah siklus delapan tahunan (*sewindu*), siklus tujuh harian (*saptawara*) dan siklus lima harian (*pancawara*) atau disebut juga *pasaran*. Siklus delapan tahunan dimulai dari tahun *Alif, Ehe, Jimawal, Je, Dal, Be, Wawu* dan diakhiri tahun *Jimakir*. Siklus tujuh harian (*saptawara*) pada tahun *Alif* dimulai dengan hari *Rebo, Kemis, Jemuah, Setu, Ahad, Senen*, dan diakhiri oleh hari *Slasa*. Siklus lima harian (*pancawara*) pada tahun *Alif* dimulai *Wage, Kliwon, Legi, Paing* dan diakhiri dengan *Pon*.

Kalender *Aboge* dimulai dengan tahun *Alif* dan tanggal 1 bulan 1 (*Sura*) tahun *Alif* atau *Alip* selalu jatuh pada hari *Rebo Wage* sehingga disebut *Aboge (Alif Rebo Wage)*. Selanjutnya, dalam sistem Kalender

Aboge, hari Rabu akan dijadikan sebagai hari pertama dan *Wage* juga dijadikan hari pertama. Dengan cara ini diperoleh Sandi Tahun yaitu *Alip-Rebo-Wage = Alip-1-1* dibaca *Alip-ji-ji*. (Dalam bahasa Jawa, 1 dibaca *siji* atau cukup *ji*).

Dengan melanjutkan pola pembentukan hari, maka Kamis akan menjadi hari kedua dan seterusnya hingga Selasa menjadi hari ketujuh. Demikian juga dengan pola pembentukan *pasaran*, maka *Kliwon* akan menjadi pasaran kedua dan seterusnya hingga *Pon* menjadi *pasaran* kelima. Gambar 15 menampilkan nomor urut hari (disebut *jejem*) untuk siklus tujuh harian dan lima harian pada Kalender *Aboge*.

Jejem (Valensi) untuk Nama Hari
Saptawara dan Pancawara

Hari Saptawara	Jejem	Hari Pancawara	Jejem
Rabu/Rebo	1	Wage	1
Kamis/Kemis	2	Kliwon	2
Jum'at/Jemuah	3	Legi	3
Sabtu/Setu	4	Paing	4
Minggu/Ahad	5	Pon	5
Senin/Senen	6		
	7		

Gambar 15. Urutan hari-hari (*jejem*) dalam siklus tujuh harian dan lima harian pada Kalender *Aboge*

Untuk memperoleh Sandi Tahun yang lengkap (sebanyak delapan penyandian), perlu diketahui bahwa tanggal 1 *Sura* tahun kedua yaitu *Ehe* atau *Ha* jatuh pada hari *Ahad-Pon* sehingga disandikan dengan *Hadpona = Ehe-5-5*. Demikian seterusnya hingga diperoleh Sandi Tahun berikut ini:

Sandi Tahun dalam Kalender *Aboge*

<i>Aboge</i>	(<i>Alip-Rebo-Wage</i>)	→	1-1 (<i>Alip-ji-ji</i>)
<i>Hadpona</i>	(<i>Ehe-Ahad-Pon</i>)	→	5-5 (<i>Ehe-ma-ma</i>)
<i>Jangapon</i>	(<i>Jimawal-Jemuah-Pon</i>)	→	3-5 (<i>Jiwal-lu-ma</i>)
<i>Jesaing</i>	(<i>Je-Slasa-Paing</i>)	→	7-4 (<i>Je-tu-pat</i>)
<i>Daltugi</i>	(<i>Dal-Setu-Legi</i>)	→	4-3 (<i>Dal-pat-lu</i>)
<i>Bemislegi</i>	(<i>Be-Kemis-Legi</i>)	→	2-3 (<i>Be-ro-lu</i>)
<i>Wanenwon</i>	(<i>Wawu-Senen-Kliwon</i>)	→	6-2 (<i>Wa-nem-ro</i>)
<i>Jangagea</i>	(<i>Jimakir-Jemuah-Wage</i>)	→	3-1 (<i>Jimkir-lu-ji</i>)

Nara sumber dalam penelitian ini yaitu Mbah Sukemi menyatakan bahwa kegunaan Sandi Tahun adalah untuk menentukan nama hari *saptawara* dan *pancawara* (*pasaran*) pada tiap-tiap tanggal 1 *Sura* (Gambar 16). Sebagai catatan, dalam bahasa Jawa, angka 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 dibaca *siji*, *loro*, *telu*, *papat*, *lima*, *enem*, dan *pitu*, serta disingkat berturut-turut menjadi *ji*, *ro*, *lu*, *pat*, *ma*, *nem*, dan *tu*.



Gambar 16. Mbah Sukemi dan Sandi Tahun dalam Kalender *Aboge*

Selain Sandi Tahun, terdapat komponen kedua dalam penyandian Kalender *Aboge*. Komponen tersebut dinamakan Sandi Bulan. Menurut Suryati (2012) dan penuturan nara sumber dalam sesi *interview* (wawancara) Sandi Bulan tersebut adalah:

Sandi Bulan dalam Kalender *Aboge*

<i>Ramjiji</i>	(<i>Sura</i> 1-1)
<i>Parluji</i>	(<i>Sapar</i> 3-1)
<i>Ludpatma</i>	(<i>Mulud</i> 4-5)
<i>Ngakirnemma</i>	(<i>Ngakir</i> 6-5)
<i>Diwaltupat</i>	(<i>Jumadilawal</i> 7-4)
<i>Dikirropat</i>	(<i>Jumadilakir</i> 2-4)
<i>Jablulu</i>	(<i>Rajab</i> 3-3)
<i>Wahmalu</i>	(<i>Ruwah</i> 5-3)
<i>Sanemro</i>	(<i>Puasa</i> 6-2)
<i>Waljiro</i>	(<i>Sawal</i> 1-2)
<i>Pitroji</i>	(<i>Apit</i> 2-1)
<i>Sarpatji</i>	(<i>Besar</i> 4-1)

Menurut Mbah Sukemi, Sandi Bulan digunakan untuk menentukan nama hari saptawara dan pasaran untuk tanggal 1 tiap bulan. Sebagai catatan, nama-nama bulan dalam tahun *Aboge* secara berturutan adalah *Sura*, *Sapar*, *Mulud*, *Ngakir*, *Jumadilawal*, *Jumadilakir*, *Rajab*, *Ruwah*, *Puasa*, *Sawal*, *Apit* dan *Besar*.

Dalam implementasinya, kedua sandi harus dibaca bersamaan. Cara pembacaan Sandi Bulan adalah sebagai berikut. *Ramjiji* berarti *Sura*-1-1 mengandung makna tanggal 1 bulan 1 (*Sura*) jatuh pada hari pertama dan pasaran pertama. Apabila saat itu adalah tahun *Alip*, maka berdasarkan Sandi Tahun tanggal 1 *Sura* akan jatuh pada hari *Rebo-Wage*. Apabila saat

itu adalah tahun *Ehe*, maka berdasarkan Sandi Tahun tanggal 1 *Sura* akan jatuh pada hari *Ahad-Pon*. Apabila saat itu adalah tahun *Be*, maka berdasarkan Sandi Tahun, tanggal 1 *Sura* akan jatuh pada hari *Kemis-Legi*.

Umat Islam di Komunitas Islam *Aboge* akan selalu menjalani puasa selama 30 hari. Sedangkan umat Islam lainnya berdasarkan hadist Nabi Muhammad SAW dapat menjalani puasa 29 hari atau digenapkan 30 hari. Salah satu kegunaan Kalender *Aboge* adalah untuk menentukan awal puasa dan Idul Fitri. Misalkan untuk tahun 2019 ini, kapankah umat Islam dalam Komunitas Islam *Aboge* akan merayakan Idul Fitri? Berikut cara penentuannya:

1. Mengkonversi tahun Hijriyah menjadi tahun Jawa. Tahun 1440 Hijriyah akan bertepatan dengan tahun $1440 + 512 = 1952$ Jawa.
2. Mengurangkan angka tahun Jawa dengan 1554 dan hasilnya dibagi 8. Diperoleh $(1952 - 1554) / 8 = 49$ sisa 6.
3. Memberi makna pada sisa 6 yang berarti tahun ke-6 dari siklus delapan tahunan. Dengan demikian, 6 adalah tahun *Be*.
4. Mengaitkan dengan sandi tahun *Bemislegi* yang berarti *Be-Kemis-Legi*. Ini berarti, tanggal 1 *Sura* tahun *Be* jatuh pada hari Kamis (*Kemis*)-*Legi*.
5. Mengaitkan dengan Rumus Bulan untuk bulan *Sawal* yaitu *Waljiro* yang berarti hari pertama (tanggal 1 *Sawal*) jatuh pada hari ke 1 (dari siklus 7 harian) dan 2 (dari siklus 5 harian).
6. Dalam tahun *Bemislegi*, hari pertama dari siklus 7 harian adalah Kamis dan hari pertama dari siklus 5 harian adalah *Legi*. Jadi, 1 *Syawal* akan jatuh pada hari *Kemis-Paing*. Artinya, umat Islam dalam Komunitas *Aboge* akan merayakan Idul Fitri pada 1 *Syawal* 1440 H yang jatuh pada hari *Kemis-Paing*.
7. Konversi pada kalender Masehi menghasilkan tanggal **6 Juni 2019**.

Dengan demikian, umat Islam dalam Komunitas Islam *Above* akan merayakan Idul Fitri 1 Syawal 1440 Hijriyah pada hari *Kemis-Paing*, 6 Juni 2019.

2. 6 Menentukan Nama Hari Lahir

Teori-teori matematika dilahirkan bukan tanpa kegunaan. Umumnya, manfaat dari suatu teori matematika akan diketahui jauh hari setelah teori tersebut tercipta. Dalam kajian Teori Bilangan, terdapat konsep modulo yang salah satu aplikasinya dapat ditemukan dalam penentuan nama hari suatu tanggal tertentu pada Kalender Masehi. Misalnya, Hari Kemerdekaan Indonesia, tanggal 17 Agustus 1945 jatuh pada hari apa?

Setelah menjalani serangkaian aktifitas yang menuntut ketekunan, ketelitian dan jenis kecerdasan tertentu, ditemukanlah suatu persamaan matematis yang dapat digunakan untuk mencari tahun hari dan pasaran untuk tanggal 17 Agustus 1945 serta tanggal-tanggal lainnya. Persamaan tersebut adalah:

$$V_1 \equiv (k + \lceil 30,6 \cdot m - 30,2 \rceil) + 19C + 15Y + \lceil Y/4 \rceil + \lceil C/4 \rceil - 12 \pmod{35}$$

$$V_2 \equiv (k + \lceil 30,6 \cdot m + 1,8 \rceil) + 19C + 15Y + \lceil Y/4 \rceil + \lceil C/4 \rceil - 9 \pmod{35}$$

Persamaan-persamaan tersebut tertuang dalam buku *Menentukan Nama Hari Kelahiran Tanpa Error* yang sudah didaftarkan Hak Ciptanya. Tentu saja persamaan-persamaan tersebut sangat tidak menarik untuk orang yang menghindari berinteraksi intensif dengan matematika. Untuk mereka, disiapkan suatu tabel yang sangat aplikatif sehingga kemanfaatan matematika dapat dirasakan lebih banyak orang (Gambar 17). Penggunaan tabel pada Gambar 17 hanya memerlukan operasi aritmatika *pipalanda*

(*ping*/perkalian, *para*/pembagian, *lan*/penjumlahan dan *suda*/pengurangan). Angka-angka (valensi) yang terdapat pada Gambar 17 diperoleh dari persamaan matematis yang pertama.

Pada Gambar 17 terdapat nama-nama (kolom) bulan dari Januari dengan valensi 23 sampai dengan Desember dengan valensi 27. Selanjutnya terdapat kolom Tahun, dimulai dari tahun 0 dengan valensi 26 sampai dengan tahun 99 dengan valensi 30. Kolom Abad dimulai dengan abad 0 yang memiliki valensi 0 sampai dengan abad 24 dengan valensi 12.

$$V = (k + \lfloor \frac{30,6 \cdot m - 30,2}{12} \rfloor + 124C + Y + \lfloor \frac{Y}{4} \rfloor + \lfloor \frac{C}{4} \rfloor - 12) \bmod 35$$

BULAN	TAHUN												ABAD				
Januari	23	0	24	25	23	50	18	75	14	0	8						
Februari	19	1	8	26	2	51	23	76	20	1	18						
Maret	32	2	21	27	17	52	14	77	18	2	3						
April	28	3	1	28	33	53	29	78	23	3	21						
Mei	23	4	17	29	13	54	9	79	8	4	7						
Juni	19	5	32	30	28	55	24	80	21	5	26						
Juli	14	6	12	31	8	56	8	81	1	6	10						
Agustus	10	7	27	32	24	57	20	82	16	7	29						
September	6	8	8	33	4	58	0	83	31	8	14						
Oktober	1	9	23	34	19	59	15	84	12	9	33						
November	32	10	3	35	34	60	31	85	27	10	17						
Desember	27	11	18	36	15	61	11	86	7	11	1						
		12	34	37	30	62	26	87	22	12	21						
		13	14	38	10	63	6	88	3	13	5						
		14	29	39	25	64	22	89	18	14	24						
		15	9	40	6	65	2	90	33	15	8						
		16	25	41	21	66	17	91	13	16	38						
		17	5	42	1	67	32	92	29	17	12						
		18	20	43	16	68	13	93	9	18	31						
		19	0	44	32	69	28	94	24	19	15						
		20	16	45	12	70	8	95	4	20	0						
		21	31	46	27	71	23	96	20	21	19						
		22	11	47	7	72	4	97	0	22	3						
		23	26	48	23	73	19	98	15	23	22						
		24	7	49	3	74	34	99	30	24	12						

Gambar 17. Valensi untuk Bulan, Tahun dan Abad dalam Kalender Masehi

Persamaan matematis tersebut bekerja dalam modulo 35. Demikian pula valensi-valensi dalam Gambar 17, juga bekerja dengan modulo 35. Untuk itu, sisa pembagian oleh 35 dinyatakan sebagai kombinasi nama hari mingguan dan pasaran (Gambar 18). Sisa 0 menyatkan hari Minggu-*Paing* dan seterusnya hingga sisa 34 untuk Sabtu-*Legi*.

V	Hari	V	Hari	V	Hari	V	Hari	V	Hari
0	Minggu Paing	7	Minggu Wage	14	Minggu Legi	21	Minggu Pon	28	Minggu Kliwon
1	Senin Pon	8	Senin Kliwon	15	Senin Paing	22	Senin Wage	29	Senin Legi
2	Selasa Wage	9	Selasa Legi	16	Selasa Pon	23	Selasa Kliwon	30	Selasa Paing
3	Rabu Kliwon	1	Rabu Paing	17	Rabu Wage	24	Rabu Legi	31	Rabu Pon
4	Kamis Legi	1	Kamis Pon	18	Kamis Kliwon	25	Kamis Paing	32	Kamis Wage
5	Jumat Paing	1	Jumat Wage	19	Jumat Legi	26	Jumat Pon	33	Jumat Kliwon
6	Sabtu Pon	1	Sabtu Kliwon	20	Sabtu Paing	27	Sabtu Wage	34	Sabtu Legi

Gambar 18. Valensi untuk *Selapanan* (Siklus 35 hari)

Contoh penggunaan tabel pada Gambar 17 dan Gambar 18 adalah sebagai berikut:

Aplikasi 1:

Proklamasi Kemerdekaan:

17 Agustus 1945

$V = \text{tanggal} + \text{valensi bulan} + \text{valensi tahun} + \text{valensi abad}$

$$V = 17 + 10 + 12 + 15 = 54.$$

Hasil tersebut selanjutnya dikurangi dengan 35 sampai diperoleh angka yang kurang dari 35.

$$V = 54 - 35 = 19.$$

Pada Gambar 18, angka 19 menyatakan hari Jumat-*Manis* (*Sweet-Friday*).

Aplikasi 2:

Hari Lahir Unsoed:

23 September 1963.

$V = \text{tanggal} + \text{valensi bulan} + \text{valensi tahun} + \text{valensi abad}$

$$V = 23 + 6 + 6 + 15 = 50.$$

Hasil tersebut selanjutnya dikurangi dengan 35 sampai diperoleh angka yang kurang dari 35.

$$V = 50 - 35 = 15.$$

Pada Gambar 18, angka 15 menyatakan hari *Senin-Paing*.

Aplikasi 3 (Tahun Kabisat):

29 Februari 1980.

$V = \text{tanggal} + \text{valensi bulan} + \text{valensi tahun} + \text{valensi abad}$

$$V = 29 + 19 + 5 + 15 = 68.$$

Hasil tersebut selanjutnya dikurangi dengan 35 sampai diperoleh angka yang kurang dari 35.

$$V = 68 - 35 = 33.$$

Pada Gambar 18, angka 33 menyatakan hari *Jumat-Kliwon*.

Sebagai catatan, apabila tahun tersebut adalah kabisat, maka angka tahun dikurangi 1.

2.7 Sengkala Lamba (Kuno Kini Nanti)

Meskipun pada gantinya penggunaan *sengkala lamba* semakin jarang dilakukan, namun saat ini penggunaan *sengkala lamba* tersebut belum berakhir. Karena ketidaktahuan, maka sesuatu yang sudah sangat akrab dengan keseharian tidak disadari merupakan contoh dari *sengkala*

lamba. Berikut ini beberapa contoh sengkala lamba yang masih lestari hingga saat ini:

1. Hari Jadi Kabupaten Banyumas

Beberapa waktu berselang, Hari Jadi Kabupaten Banyumas ditetapkan 6 April 1582, namun sekarang ditetapkan menjadi 22 Februari 1571. Dalam logo (lambang) Kabupaten Banyumas tertulis suatu kalimat yang mungkin menjadi motto Kabupaten Banyumas, yaitu *Rarasing Rasa Wiwaraning Praja*. Semboyan Kabupaten Banyumas adalah Banyumas SATRIA: Sejahtera, Adil, Tertib, Rapi, Indah dan Aman.

Rangkaian kata yang membentuk motto Kabupaten Banyumas jika ditelusuri ternyata merupakan suatu *sengkala lamba* yang menyatakan angka tahun 1966 Masehi, yaitu *Rarasing (6) Rasa (6) Wiwaraning (9) Praja (1)*. Ada kejadian atau peristiwa apa pada tahun 1966 terkait dengan Kabupaten Banyumas? Ternyata, tahun 1966 merupakan tahun pembuatan logo Kabupaten Banyumas.

2. Hari Jadi Universitas Sebelas Maret

UNS (Universitas Sebelas Maret) berdiri pada tahun 1978 Masehi di Kota Solo. Tahun pendiriannya terpahat dalam logo UNS, bukan dalam bentuk angka namun disajikan dalam rangkaian kata yang membentuk *sengkala lamba* (Gambar 19).



Gambar 19. Logo UNS dengan *Sengkala Lamba angesthi Luhur Ambangun Nagara*

Dari *sengkala lamba Mangesthi* (8) *Luhur* (0) *Ambangun* (9) *Nagara* (1) diperoleh angka tahun 1908 namun pada kalender Jawa. Konversi pada kalender Masehi menghasilkan angka tahun 1978 Masehi.

Sengkala lamba tidak sebatas untuk menyatakan angka tahun. Kata-kata yang dipilih untuk menyusun *sengkala lamba* juga memberikan makna, semangat spirit, kekuatan moral, cita-cita dan harapan. *Sengkala lamba* yang berbunyi *Mangesthi Luhur Ambangun Nagara* bermakna Cita-cita Mulia Membangun Negara.

3. Sekaten Yogya 2017 M (1951 Jawa)

Sekaten merupakan tradisi yang masih terus dipelihara oleh keraton-keraton di Tanah Jawa, antara lain Keraton Yogyakarta. Pada Sekaten tahun 2017 Masehi, pelaksanaannya ditandai dengan *sengkala memet* sekaligus *sengkala lamba* (Gambar 20).



Gambar 20. Sengkala Memet dan Sengkala Lamba pada Pelaksanaan Sekaten di Keraton Yogyakarta Tahun 2017 Masehi

Pada Gambar 20, sebuah *sengkala memet* dalam bentuk lukisan seorang lelaki dalam posisi hendak melepaskan anak panah. Agar anak panah tersebut tepat mengenai sasaran, maka Sang Pemanah harus menyatukan (*manunggaling*) hati (*manah*) serta memusatkan (*trusing*) akal pikirannya (*budi*). Jadi, dari *sengkala memet* tersebut dapat diciptakan kalimat yang merupakan *sengkala lamba* berbunyi *Manunggaling Manah Trusing Budi*.

Setiap kata yang membentuk sengkala lamba mempunyai watak bilangan (valensi). Kata *manunggaling* dan *budi* mempunyai watak bilangan 1, kata *manah* mempunyai watak bilangan 5, dan kata *trusing* mempunyai watak bilangan 9. Dengan demikian, diperoleh angka tahun 1951 Jawa dengan konversi menjadi 2017 Masehi.

4. SENAMANTRA 2016 dan 2018

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman mempunyai hajatan dua tahun sekali yaitu Seminar Nasional. Seminar tersebut telah berlangsung pada tahun 2016 dan 2018 dengan nama SENAMANTRA (Seminar Nasional Matematika dan Terapannya). Sebagai suatu seminar, tentu saja harus diciptakan logo yang berupa *Gunungan* Senamantra yang selalu tetap, tetapi dengan angka tahun berbeda-beda tergantung pada tahun pelaksanaannya.

Tahun pelaksanaan SENAMANTRA selain dinyatakan dalam bentuk angka, juga disandikan dalam bentuk *sengkala lamba*. Untuk SENAMANTRA 2016 digunakan *sengkala lamba* berbunyi *Rasaning (6) Jalma (1) Muluk (0) Bebarengan (2)*. Untuk SENAMANTRA 2018 digunakan *sengkala lamba* dengan bunyi *Brahmana (8) Aji (1) Muluk (0) Samya (2)* (Gambar 21). Dibalik kedua *sengkala lamba* tersebut, tersimpan makna yang mendalam.



Gambar 21. *Sengkala Lamba* SENAMANTRA 2016 dan SENAMANTRA 2018

5. Hari Jadi Unsoed

Universitas Jenderal Soedirman (Unsoed) didirikan pada tahun 1963 Masehi, tepatnya pada tanggal 23 September 1963. Tahun 2019, Unsoed genap berusia 56 tahun.

Pada logo Unsoed yang saat ini resmi digunakan terdapat angka tahun berdirinya, yaitu 1963 (Gambar 22).



Gambar 22. Logo Universitas Jenderal Soedirman

Apabila tahun berdirinya Unsoed hendak dibuatkan *sengkala lamba*-nya, maka terdapat banyak pilihan untuk penggunaan kalender, seperti kalender Hijriyah, kalender Jawa dan kalender Masehi. Pilihan paling logis adalah digunakannya kalender Masehi agar bersesuaian dengan angka tahun 1963 pada logo Unsoed. Hal ini menjelaskan, mengapa pada logo UNS (Universitas Sebelas Maret, lihat Gambar 19 tidak disertakan angka tahunnya).

Salah satu contoh *sengkala lamba* yang dapat dipilih untuk menandai tahun berdirinya Unsoed yaitu tahun 1963 Masehi adalah *Ujwalaning (3) Rasa (6) Wiwaraning (9) Buwana (1)*. Makna dari *sengkala lamba* tersebut adalah menggelornya (*ujwalaning*) tekad (*rasa*) untuk menjadikan UNSOED sebagai gerbang (*wiwaraning*) dunia (*buwana*) ilmu pengetahuan, sains, teknologi, seni dan budaya.

6. **Tahun Lahir Penulis**

Menyanjung diri-sendiri dalam makna positif bukanlah dimaksudkan untuk pamer. Salah satu cara menyanjung tersebut adalah dengan mencipta *sengkala lamba* yang maknanya sesuai dengan visi dan misi hidup di dunia. Tahun kelahiran penulis adalah 1971 Masehi dan untuk itu dapat dibuatkan *sengkala lamba*-nya yaitu *Sujanma* (1) *Agung* (7) *Kusumaning* (9) *Praja* (1).

Menyadari bahwa hidup di dunia merupakan kesempatan untuk berinvestasi agar kelak tempat kembalinya adalah surga, maka visi dan misi hidup bersama bidadari di surga perlu mewujudkan dalam *sengkala lamba* yang untuk menyatakan tahun kematian. Namun, siapapun orangnya tidak pernah tahun saat menghadap Illahi sehingga *sengkala lamba* tersebut tidak akan pernah tercipta.

7. ***Sengkala Lamba* pada Majalah *Mangle***

Diluar budaya Jawa, budaya Sunda juga mengenal penyandian melalui *sengkala memet* dan *sengkala lamba*. Contoh penyandian yang masih terus digunakan hingga saat ini dapat ditemukan pada Majalah berbahasa Sunda, *Mangle*. *Sengkala lamba* tersebut menunjukkan tahun pertama kalinya *Mangle* diterbitkan yaitu 1957 Masehi. *Sengkala lamba* yang dimaksud adalah *Sukaning* (7) *Indriya* (5) *Gapuraning* (9) *Rahayu* (1). Lihat Gambar 23.



Gambar 23. Sengkala Lamba pada Majalah Berbahas Sunda, *Mangle: Sukaning Indriya Gapuraning Rahayu*

2.8 Matematika dan Perjodohan (*Math and Mate*) dalam Kitab *Primbon Betaljemur Adammakna*

Kalender Jawa saat ini telah memasuki kuruf yang keempat, yaitu kuruf *Asapon (Alif-Selasa-Pon)* yang berlaku sejak 24 Maret 1936 sampai dengan 25 Agustus 2052. Tiga kuruf sebelumnya adalah *Awahgi*, *Amiswon*, dan *Aboge*. Pada kuruf keempat ini, hari-hari dalam siklus tujuh harian (*saptawara*) dan lima harian (*pancawara*) mempunyai *neptu* yang berbeda dengan *neptu* pada tiga kuruf sebelumnya. Dalam Kitab *Primbon Betaljemur Adammakna*, didaftarkan *neptu* untuk kedua siklus tersebut (Tabel 1).

Salah satu penggunaan Tabel 1 tersebut adalah untuk menentukan atau memprediksi nasib dari suatu pernikahan yang akan dijalani oleh sepasang anak manusia. Meskipun belum ada penelitian mengenai kebenaran dari prediksi atau ramalan dalam *primbon* tersebut, namun informasi-informasi yang termuat di dalamnya banyak diyakini sebagai

kebenaran. Tidak jarang terjadi, pernikahan batal disebabkan primbon memberikan ramalan bahwa apabila pernikahan tetap dijalankan maka yang akan terjadi adalah peristiwa-peristiwa yang tidak menyenangkan, misalnya *mlarat* (hidup miskin sepanjang pernikahan), *akeh pengkalane* (banyak halangan/rintangannya dalam menjalani kehidupan bersama), atau *kalah siji* (salah satu akan cepat meninggal), dan prediksi-prediksi negatif lainnya. Inilah matematika dan perjodohan (*math and mate*) dalam Kitab *Primbon Betaljemur Adammakna* (BJAM).

Tabel 1. *Neptu Hari Saptawara dan Hari Pancawara*

Hari Saptawara	Neptu	Hari Pancawara	Neptu
Rabu	7	<i>Wage</i>	4
Kamis	8	<i>Kliwon</i>	8
Jumat	6	<i>Legi</i>	5
Sabtu	9	<i>Paing</i>	9
Minggu	5	<i>Pon</i>	7
Senin	4		
Selasa	3		

Para orang tua Jawa yang masih kental kepercayaannya pada kebenaran *primbon* akan berusaha menjodohkan anaknya dengan pilihannya apabila *primbon* memberi lampu hijau untuk pernikahan tersebut. Misalnya, apabila *primbon* memberikan mantra *tulus begjane* (selalu beruntung selama membina rumah tangga) maka pernikahan tersebut sebaiknya dilanjutkan. Namun, saat ini cukup banyak orang tua Jawa dan calon pengantin Jawa yang tidak mengacu pada mantra-mantra yang ditulis dalam *primbon*. Lantas, bagaimana *primbon* BJAM memprediksi nasib suatu pernikahan?

Kitab *primbon* BJAM memberikan empat metode untuk meramalkan perjodohan atau pernikahan yang dilaksanakan. Keempat metode tersebut menggunakan *neptu* hari *saptawara* dan *pancawara* untuk menentukan hasil ramalan tersebut. Sebelum menjelaskan salah satu metode tersebut, definisikan dahulu *neptu weton* yaitu jumlahan *neptu* hari *saptawara* dengan *neptu* hari *pancawara*. Sebagai contoh, orang yang lahir pada hari Jumat *Legi* maka *neptu weton*-nya adalah $6 + 5 = 11$ (lihat Tabel 1). Aktifitas menjumlahkan merupakan salah satu kegiatan dalam matematika. Hasil ramalan baru dapat ditentukan setelah *neptu weton* dikurangi oleh suatu angka tertentu. Proses pengurangan dapat dilakukan sekali atau lebih sampai diperoleh suatu angka yang lebih kecil atau sama dengan angka pengurang tersebut. Angka yang diperoleh disebut *turah* (sisa). Dalam matematika, proses ini (pengurangan yang berulang) menghasilkan konsep modulo. Aktifitas mengurangi juga merupakan salah satu kegiatan dalam matematika.

Salah satu metode untuk menentukan baik dan buruknya suatu pernikahan didasarkan pada Tabel 2. Misalkan dua orang yang berniat untuk menikah lahir pada Jumat *Legi* dan pasangannya lahir pada Jumat *Paing*. *Neptu weton* masing-masing adalah $6 + 5 = 11$ dan $6 + 9 = 15$. Untuk menentukan prediksi pernikahannya, maka *neptu weton* keduanya dijumlahkan dan hasilnya dikurangi dengan 4 (sekali atau lebih) hingga diperoleh *turah* (sisa) yang nilainya lebih kecil atau sama dengan 4.

Tabel 2. Sisa dari *Neptu Weton* untuk Prediksi Perkawinan dan Maknanya

Turah (Sisa)	Mantra/Ramalan (Prediksi ke Depan)	Makna
1	<i>Gentho</i>	<i>Larang anak</i> (memiliki sedikit anak)
2	<i>Gembili</i>	<i>Sugih anak</i> (memiliki banyak anak)
3	<i>Sri</i>	<i>Sugih rejeki</i> (diberi banyak rejeki)
4	<i>Punggel</i>	<i>Mati siji</i> (salah satu meninggal)

Dengan cara tersebut, jumlah *neptu weton* keduanya adalah 26 yang apabila dikurangi dengan 4 sebanyak 6 kali akan diperoleh *turah* 2 (yaitu $26 - 4 - 4 - 4 - 4 - 4 - 4 = 2$). Berdasarkan Tabel 2, *turah* 2 ekuivalen dengan *gembili* sehingga diyakini pernikahan tersebut baik untuk dilaksanakan dan akan diamanati untuk memiliki banyak anak.

Dalam tradisi Jawa, *turah* (sisa) tidak pernah diberi nilai 0 sebab angka 0 diyakini sebagai angka mati dan cenderung bersifat merusak. Valensi *turah* (sisa) yang paling kecil adalah 1 dan paling besar adalah angka pengurangnya, yaitu 4. *Turah* (sisa) 4 dapat terjadi apabila jumlah *neptu weton*-nya adalah 16, 20, 24, 28, 32 dan 36.

Konsep ini berbeda dengan konsep dalam matematika yang memungkinkan sisa (*turah*) bernilai 0 dan dengan nilai sisa yang tertinggi adalah angka pengurang tersebut dikurangi 1. Dengan demikian, apabila angka pengurangnya 4, maka dalam matematika *turah* (sisa) dapat bernilai 0, 1, 2 atau 3.

Hingga saat ini belum ada penjelasan yang gamblang mengapa kategorisasinya hanya empat jenis yaitu *gentho*, *gembili*, *sri* dan *punggel*. Hal lain yang juga masih belum jelas adalah mengapa *gentho* harus ditempatkan pada *turah* (sisa) 1, sehingga relasi antara 1 dengan *gentho*, 2

dengan *gembili*, 3 dengan *sri* dan 4 dengan *punggel* menjadi suatu neniscayaan. Hal seperti ini merupakan kajian diluar matematika.

Relasi antara matematika dengan perjodohan atau *math* dengan *mate* dinukilkan dari pengurangan jumlahan *neptu weton* oleh suatu angka tertentu. Pengurangan baik yang berulang atau tidak dapat dipandang sebagai pembagian oleh angka tertentu. Untuk jumlahan *neptu weton* 26, maka apabila dibagi 4 maka hasilnya adalah 6 dengan sisa 2, yaitu $26 = (4 \times 6) + 2$.

Misalkan, untuk mempelai pria diberlakukan *neptu* hari *saptawara* adalah a dan *neptu* hari *pancawara* adalah b , dengan $a = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ dan $b = 4, 5, 7, 8, 9$. *Neptu weton* mempelai pria adalah jumlahan *neptu* hari *saptawara* dengan *neptu* hari *pancawara*. Jadi, *neptu weton* mempelai pria = $a + b$.

Misalkan, untuk mempelai wanita diberlakukan *neptu* hari *saptawara* adalah c dan *neptu* hari *pancawara* adalah d , dengan $c = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ dan $d = 4, 5, 7, 8, 9$. *Neptu weton* mempelai wanita adalah jumlahan *neptu* hari *saptawara* dengan *neptu* hari *pancawara*. Jadi, *neptu weton* mempelai wanita = $c + d$.

Selanjutnya, *neptu weton* kedua pasangan = $a + b + c + d$. Dalam kasus ini angka pengurangnya dimisalkan dengan q . Mengurangkan $a + b + c + d$ oleh q sekali atau lebih sama dengan membagi $a + b + c + d$ dengan q dan diperoleh sisa r dengan $1 \leq r \leq q$. Sisa r inilah yang dimunculkan dalam Tabel 2, dan dalam hal ini $1 \leq r \leq 4$. dengan r bilangan asli. Secara matematis, relasi antara *math* (matematika) dengan *mate* (perjodohan) menghasilkan persamaan matematis:

$$a + b + c + d = pq + r \text{ dengan } p \geq 1 \text{ dan } 1 \leq r \leq q.$$

Dengan memisalkan $a + b + c + d = s$, maka

$$s = pq + r \text{ dengan } p \geq 1 \text{ dan } 1 \leq r \leq q.$$

Dalam konsep modulo, persamaan terakhir dapat ditulis dengan

$$s \bmod q = r$$

dengan q : bilangan modulo;

r : sisa pembagian ($1 \leq r \leq q$).

Konsep modulo yang dibangkitkan dari ranah budaya Jawa berbeda dengan konsep modulo dalam matematika. Perbedaan tersebut terletak pada sisa pembagian dalam matematika yang mengambil nilai 0 sampai dengan bilangan modulo dikurangi 1 atau $0 \leq r \leq q - 1$.

2.9 Matematika dan *Palintangan (Math and Farm)* dalam Masyarakat Agraris Cigugur

Di Kabupaten Kuningan, Jawa Barat terdapat suatu komunitas yang masih bertahan dengan adat lama untuk menentukan saat pertama kali menanam padi. Mereka mengembangkan konsep palintangan untuk menentukan hari baik untuk menanam padi. Konsep palintangan dalam Masyarakat Agraris Cigugur mendasarkan perhitungan hari baik pada Tabel 1. Selanjutnya, jumlahan *neptu* hari *saptawara* dan *neptu* hari *pancawara* dikurangi dengan bilangan 4 hingga diperoleh sisa 1, 2, 3 atau 4. Hasil perhitungan yang disebut sisa tersebut dicocokkan dengan Tabel 3. Jika jatuh pada hari baik maka tanam padi dapat dilakukan. Dalam Tabel 3, satu-satunya saat (waktu) yang disebut baik jika perhitungan tersebut menghasilkan sisa 4.

Tabel 3. Sisa dari *Neptu Weton* untuk Prediksi Cocok Tanam dan Maknanya

Turah (Sisa)	Mantra/Ramalan (Prediksi ke Depan)	Makna
1	<i>Sungut</i>	<i>Seeur nyarios jeung seeur dicarioskeun</i> (banyak berbincang dibanding kerja sehingga proses bertani sehingga kurang serius pada pengerjaannya yang berdampak pada sedikitnya hasil pertanian)
2	<i>Irung</i>	<i>Kaambu ku hama</i> (tanaman padi dapat dideteksi oleh hama)
3	<i>Mata</i>	<i>Katempo ku hama</i> (hama akan menyerang tanaman padi yang menyebabkan puso atau gagal panen)
4	<i>Ceuli</i>	<i>Mung kapireng wungkul</i> (hama hanya tahu ada tanaman padi namun tidak mampu menyerangnya)

Dalam bahasa Sunda, nama-nama hari *saptawara* mengalami sedikit perbedaan pelafalan yaitu *Rebo*, *Kemis*, *Jumaah*, *Saptu*, *Ahad*, *Senen*, dan *Salasa*. Demikian juga dengan nama-nama hari *pancawara* yaitu *Wage*, *Kaliwon*, *Manis*, *Pahing*, dan *Puhun*.

Secara matematis, sisa 4 diperoleh apabila jumlahan *neptu* kedua hari adalah 4, 8, 12, yang merupakan bilangan kelipatan 4. Dari Tabel 1, jumlahan *neptu* kedua hari mempunyai nilai antara 7 sampai dengan 18. Dengan demikian, saat (waktu) yang baik untuk menanam padi adalah hari ketika jumlahan *neptu*-nya 8, 12 dan 16. Tabel 4 merangkum hari baik untuk berocok tanam bagi Komunitas Agraris Cigugur, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat.

Aspek matematis dari kegiatan cocok tanam oleh masyarakat agraris Cigugur muncul dalam bentuk modulo. Dalam konsep modulo, persamaan $s \bmod q = r$ ekuivalen dengan $s \equiv r \pmod{q}$ dengan $q = 4$ menyatakan bilangan modulo dan $r = 4$ menyatakan sisa pembagian. Nilai-nilai s yang memenuhi $s \equiv 4 \pmod{4}$ adalah $s = 4, 8, 12, 16, 20, \dots$ Dalam kasus di atas, s menyatakan jumlahan *neptu* hari *saptawara* dan *neptu* hari *pancawara* sehingga $s = 8, 12,$ dan 16 .

Tabel 4. Penentuan Hari Baik untuk Bercocok Tanam di Komunitas Agraris Cigugur

<i>Saptawara dan Neptu-nya</i>		<i>Pancawara dan Neptu-nya</i>					Hari Baik untuk Bercocok Tanam
		<i>Wa</i>	<i>Kaliw</i>	<i>Man</i>	<i>Pahi</i>	<i>Puh</i>	
		<i>ge</i>	<i>on</i>	<i>is</i>	<i>ng</i>	<i>un</i>	
		4	8	5	9	7	
<i>Rebo</i>	7	11	15	12	16	14	<i>Rebo Manis, Rebo Pahing</i>
<i>Kemis</i>	8	12	16	13	17	15	<i>Kemis Wage, Kemis Kaliwon</i>
<i>Jumaah</i>	6	10	14	11	15	13	-
<i>Saptu</i>	9	13	17	14	18	16	<i>Saptu Puhun</i>
<i>Ahad</i>	5	9	13	10	14	12	<i>Ahad Puhun</i>
<i>Senen</i>	4	8	12	9	13	11	<i>Senen Wage, Senen Kaliwon</i>
<i>Salasa</i>	3	7	11	8	12	10	<i>Salasa Manis, Salasa Pahing</i>

Berdasarkan Tabel 4, terdapat 10 hari dari 35 hari yang dinyatakan baik untuk bercocok tanam.

3. PENUTUP

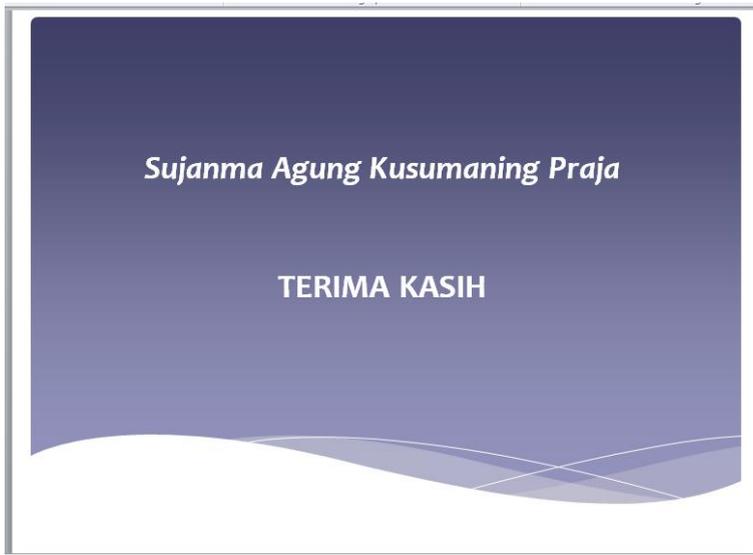
Bangsa yang beradab adalah bangsa yang bermatematika. Bukti-bukti yang telah dipaparkan menunjukkan bahwa bangsa Indonesia adalah bangsa yang telah bermatematika dan membangun peradaban agung. Candi Borodudur dan Prambanan tidak dapat dibangun tanpa matematika. Pada masanya, primbon menjadi pencegah untuk terjadinya pernikahan apabila tidak ada kecocokan antara *neptu weton* kedua pasangan.

Sebagai kelanjutan dari artikel ini adalah tawaran untuk pembentukan Pusat Penelitian Etnomatematika, *Ethnoscience* atau *Sains in Culture* di LPPM Unsoed dilengkapi dengan penerbitan Jurnal EMAS (Etno Matematika, Astronomi, dan Statistika). Lihat Gambar 24.



Gambar 24. PUSLIT Etnomatematika dan Jurnal EMAS

Terakhir, ijinkan kami untuk menutup artikel ini dengan Gambar 25 yang merupakan sengkala lamba (kronogram) tahun kelahiran penulis pada kalender Masehi.



Gambar 25. *Sujanma Agung Kusumaning Praja: 1971 Masehi*

DAFTAR PUSTAKA

- Kurnia, A. D., Lely, K., Prabowo, A. dan Sugandha, A. 2015. Aplikasi Teori Kekongruenan untuk Mengkonversikan Hari Saptawara dan Pancawara pada Kalender Masehi. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika SNMPM. Jurusan Matematika UNDIP Semarang. 12 September 2015.
- Nurhidayat, I., Nursekha, V., Prabowo, A. dan Sugandha, A. 2015. Aplikasi Teori Kekongruenan untuk Menentukan Hari Saptawara dan Pancawara pada Tanggal Hijriyah Tertentu. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika SNMPM. Jurusan Matematika UNDIP Semarang.
- Prabowo, A. 2010a. Bilangan dalam Khasanah Budaya Jawa (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika. UNY Yogyakarta. 20 November 2010.
- Prabowo, A. 2010b. Menalar Sengkala Merajut Matematika. *Edukasi Matematika (EDUMAT) PPPPTK Matematika*. Vol. 1, No. 2, pp. 86-99.
- Prabowo, A. 2011. Sengkala: Sandi Bilangan Tahun. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika UNPAR 2011. UNPAR Bandung. 1 Oktober 2011.
- Prabowo, A. 2012. Tarikh Jawa: Kalender Lunar Berbasis Matematika. *Edukasi Matematika (EDUMAT) PPPPTK Matematika*. Vol. 3, No. 6, pp. 395-410.
- Prabowo, A. 2014a. Pahatan Kemampuan Membilang dengan Basis Sepuluh dan Nilai Tempat pada Prasasti-Prasasti Nusantara. *Edukasi Matematika (EDUMAT) PPPPTK*. Vol. 5, No. 10, pp. 571-586.
- Prabowo, A. 2014b. Sandi Bencana dalam Pararaton. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika UNPAR 2014. UNPAR Bandung. 20 September 2014.
- Prabowo, A. 2014c. Sengkala-Sengkala dari Asia Tenggara yang Melawan Prinsip *Angkanam Vamato Gatih*. (*Prosiding*). Seminar Nasional Statistika, Matematika dan Aplikasinya. UNISBA Bandung. 26 Agustus 2014.
- Prabowo, A. 2014d. *The Pakubuwono Code*. Penerbit: Phoenix Publishing, Jakarta. Tahun: 2014. ISBN: 978-602-7689-74-9.

- Prabowo, A. 2015a. Candrasengkala: Warisan Luhur pada Leluhur (Artikel Lepas). Nara Sumber pada *Diskusi Bulanan Moedomo Learning Initiative*. Perpustakaan Pusat ITB, Bandung, 22 Oktober 2015.
- Prabowo, A. 2015b. Eksistensi Matematika Jawa Sejak Mataram Kuno hingga NKRI: Local Genius yang Terlupakan. Nara Sumber pada *Forum Matematika (FORMAT) IV Se-Jawa Tengah dan DIY*. Baturaden. 11 April 2015.
- Prabowo, A. 2015c. The Inscription of Srivijaya in the Mathematical Perspective (Kedukan Bukit and Talang Tuo Inscription). (*Proceeding*). International Symposium on Religious and Heritage (ISLAGE) 2015. Litbang Khazanah dan Lektur, Departemen Agama RI. 15 September 2015.
- Prabowo, A. 2016a. Djamijah Cipher: Memori Vigenere dari Pacitan. *Bersains*, Volume 2 Nomor 2 (Online: Februari 2016) hal. 13-24.
- Prabowo, A. 2016b. Eksotisme Wayang Beber Sengkala. *Bersains*, Volume 2 Nomor 8 (Online: Agustus 2016) hal. 67-76.
- Prabowo, A. 2016c. Goresan Angka Sang Citralekha. *Bersains*, Volume 2 Tahun 2016 hal. 75-85 atau *Bersains* Volume 1 Nomor 10 (Online Oktober 2015) hal. 81-92.
- Prabowo, A. 2016d. *Hak Cipta*. Nomor 000113679 atas buku berjudul Menentukan Nama Hari Kelahiran Tanpa Error. Diumumkan 15 Oktober 2016 di Purwokerto.
- Prabowo, A. 2016e. *Menentukan Nama Hari Kelahiran Tanpa Error*. Penerbit: UPT Penerbitan dan Percetakan UNSOED. ISBN: 978-602-1004-31-9.
- Prabowo, A. 2016f. Watak Bilangan, Aturan Penurunan dan Aplikasinya dalam Kronogram Jawa dan Sunda. Nara Sumber pada *Simposium Etnomatematika dan Etnoinformatika untuk Pemetaan Budaya Indonesia*. Laboratorium Matematika Terapan, Departemen Matematika, UNPAD. 23 September 2016.
- Prabowo, A. 2018g. Matematika Jawa. Nara Sumber pada *Orasi Ilmiah Dies Natalis FMIPA UNSOED Ke-4*. FMIPA UNSOED. 13 November 2018.
- Prabowo, A. dan Sidi, P. 2011. Konsep Nilai Tempat yang Ditemukan pada Sengkala Memet. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika UNESA 2011. UNESA Surabaya. 22 Oktober 2011.

- Prabowo, A. dan Sidi, P. 2014. *Permulaan Matematika dalam Peradaban Bangsa-Bangsa: Kontribusi Budaya Jawa dalam Matematika*. Penerbit: UPT Penerbitan dan Percetakan UNSOED. ISBN: 978-979-9204-95-0.
- Prabowo, A. dan Sidi, P. 2016. *Hak Cipta*. Nomor 000113872 atas buku berjudul *Permulaan Matematika dalam Peradaban Bangsa-Bangsa: Kontribusi Budaya Jawa dalam Matematika*. Diumumkan 15 Oktober 2016 di Purwokerto.
- Prabowo, A. Sugandha, A. dan Tripena, A. 2018. *Hak Cipta*. Nomor 000127969 atas buku berjudul *Pembelajaran Matematika Melalui Kegiatan Ekstrakurikuler Menggunakan Tulang Napier*. Diumumkan 1 November 2018 di Purwokerto.
- Prabowo, A., Mamat, M. and Sukono. 2019. The Zero Sign on Inscription and Manuscript: a Case Study of Indonesia Archipelago before Majapahit Era. *Journal of Supply and Chain Management*. Vol. 8, No. 3, pp. 172-182. (Scopus).
- Prabowo, A., Mamat, M. dan Sukono. 2017. Model Matematika untuk Menentukan Lamanya Puasa Ramadhan pada Komunitas Islam Aboge di Cikakak. (*Prosiding*). Seminar Nasional Pendidikan Matematika Etnomatnesia. Univeristas Sarjanawiyata Tamansiswa. 25 November 2017.
- Prabowo, A., Mamat, M., Sukono and Napitupulu, H. 2017. The Mathematical Formula for Determining the Name of the Pancawara Day on the Masehi Calendar. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*. Vol. 51, No. 2, pp. 162-166. (Google Scholar).
- Prabowo, A., Mamat, M., Sukono and Ngadiman. 2019. Carrying Javanese Local Wisdom in Mathematical Model. *Journal of Physics: IOP Conference Series*. (Scopus).
- Prabowo, A., Sidi, P., and Sukono. 2016. Application of Chinese Remainder Theorem in Determining of Selapanan Day Name. *IORA ICOR 2016 Proceeding*.
- Prabowo, A., Sidi, P., Mamat, M. and Sukono. 2017. Mathematical Model for Determining of Wuku Name in Javanese Culture in Indonesia. *Journal of Engineering and Applied Science*. Vol. 12, No. 18, pp. 4613-4616. (Scopus).

- Prabowo, A., Sugandha, A. and Tripena, A. 2015. Prasasti Mantyasih dalam Perspektif Matematika. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika. Jurusan Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Jakarta. 24 Oktober 2015.
- Prabowo, A., Sugandha, A. dan Tripena, A. (2016). Suryasengkala Lamba: The Indonesia-Javanese Chronogram. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol. 12, No. 6, pp. 5079-5085. (Scopus).
- Prabowo, A., Sugandha, A. dan Tripena, A. 2017a. Dimensi Waktu dalam Penanggalan Prasasti. (*Prosiding*). Seminar Nasional dan Aplikasinya I (SEMNAS MANTAP I). Jurusan Matematika, Universitas Lambung Mangkurat. 22 April 2017.
- Prabowo, A., Sugandha, A. dan Tripena, A. 2017b. Prasasti Tugu dalam Perspektif Matematika dan Astronomi. (*Prosiding*). Seminar Nasional Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal yang Berkelanjutan VII. LPPM UNSOED. 17 November 2017.
- Prabowo, A., Sugianto, dan Wahyuni, I. T. 2015. Tiga Cara Menentukan Nama Wuku dalam Pawukon Saka. *Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika UNSOED*, Vol. 7, No. 1, pp. 30-47.
- Prabowo, A., Taufiq, A. A. and Pratama, R. 2018. *Hak Cipta*. Nomor 000129255 atas software computer berbasis Excel dengan judul Aplikasi Teori Bilangan dalam Penentuan Weton. Diumumkan 22 November 2018 di Purwokerto.
- Prabowo, A., Tripena, A., Sugandha, A. and Riyadi, S. 2019. On The Javanese Ethnoastronomy: Time Dimension on the Calendrical Inscriptions on Majapahit Era until Now. *Journal of Physics: IOP Conference Series*. (Scopus).
- Sidi, P. dan Prabowo, A. 2011. Penggunaan Basis Bilangan yang Ditemukan dalam Kehidupan Masyarakat Jawa. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika UNESA 2011. UNESA Surabaya. 22 Oktober 2011.
- Sidi, P., Prabowo, A. and Subianto. 2014. Applications of Number Bases in Javanese Community Life (Applications of Tally System and Number Bases on Trading, Building Constructions and Monetary/Currency). *Applied Mathematical Sciences (AMS)*. Vol. 8, No. 92, pp. 4593-4600. (Scopus).
- Sugandha, A. Prabowo, A. and Tripena, A. 2015. Aspek Matematis Candi Sukuh. (*Prosiding*). Seminar Nasional Matematika. Jurusan

Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Jakarta. 24 Oktober 2015.

- Tripena, A., Prabowo, A. dan Sugandha, A. 2015. Konsistensi Lafal Bilangan dengan Basis Sepuluh dalam Bahasa Batak Karo. (*Prosiding*). Seminar Nasional Pengembangan Sumber Daya Pedesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan V. Gedung Widya Graha UNSOED. 19 November 2019.
- Umbara, U., Wahyudin, and Prabawanto, S. 2019. Ethnomathematics: How Does Cigugur Traditional Community Use Palintangan on Farming. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1265, 012015.
- Utami, N. W., Sayuti, S. A., and Jailani. 2019. Math and Mate in Javanese Primbon: Ethnomathematics Study. *Journal on Mathematics Education*. Vol. 10, No. 3, pp. 341-356.

BIOGRAFI SINGKAT PENULIS



| **Jamrud Aminuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.** |

Jamrud Aminuddin, lahir di Kasambang-Sulawesi Barat, pada tanggal 11 Juni 1977. Menyelesaikan studi S1 di Jurusan Fisika, Universitas Hasanuddin-Makassar, Sulawesi Selatan pada tahun 2001. Pendidikan S2 diselesaikan di Jurusan Fisika, Institut Teknologi Bandung, pada tahun 2005 dalam bidang Fisika Teoretik dan Komputasi. Sejak April 2006 tercatat sebagai dosen tetap Fisika FMIPA UNSOED. Pada April 2019 menyelesaikan studi S3 di Center for Environmental Remote Sensing – Chiba University, dalam bidang Atmospheric Remote Sensing dan memperoleh gelar Ph.D. Selama menempuh Pendidikan S3 di Jepang, mendapatkan dua kali penghargaan. Pertama, sebagai *The Best Presenter Award* pada acara Indonesian Japan Joint Scientific Symposium, Chiba-Japan, November 2016, dengan judul makalah *Observation of aerosol optical properties by means of Himawari-8 satellite from space and lidar system from surface*. Penghargaan kedua adalah *The Best Student Paper Award*, diperoleh dalam acara International Symposium on Remote Sensing, May 2017, dengan judul tulisan *Development of LED-DOAS system for observing aerosol extinction near the ground level*. Saat ini sedang mengembangkan beberapa algoritma untuk pengolahan data satelit Himawari 8/9 untuk keperluan kajian *atmospheric remote sensing*. Dapat dihubungi melalui email: jamrud_uh96@yahoo.com.



| **Drs. Budi Pratikno, M.Stat.Sci., Ph.D.** |

Budi Pratikno, saat ini berprofesi sebagai dosen peneliti bidang statistika, penulis beberapa jurnal internasional berkaitan dengan *testing intercept*

with non-sample prior information (NSPI) yang banyak terbit dalam jurnal internasional seperti *Statistical Papers*, *Far East Journal of Mathematics Science*, *Elsevier*, *JSTA*, *ISSOS* dan lain-lain. Buku sudah terbit adalah *Metode Penelitian Matematika Bidang Statistika dan Statistika Elementer*, *Buku Dies MIPA Peran Matematika dan Sain*, buku monograf *power of the tests with NSPI dan lain-lain*. Beberapa buku yang sedang dalam proses penulisan bersama Dr. Jajang adalah *Teori Antrian*, *Rancangan Percobaan*, dan *Regresi Linier*. Pengalaman penulis dalam kegiatan terkait di bidang akademik lainnya adalah editor jurnal matematika UNSOED, editor buku *Analisis Data dengan SPSS*, dan *reviewer* beberapa *conference* nasional dan internasional (UAD Conference dan Seminar LPPM UNSOED). Diluar hal tersebut penulis aktif di UNSOED dan pernah menjadi sekretaris DUE Project Unsoed, Staf Ahli LPPM UNSOED, Ketua Proyek A1 Jurusan Matematika, Ketua Program Studi Matematika UNSOED, Ketua SPMB UNSOED, dan Wakil Dekan FMIPA UNSOED, dan saat ini adalah anggota senat Universitas. Aktivitas diluar UNSOED adalah sebagai dosen luar biasa (LB) IT Telkom Purwokerto dan Dosen Pembimbing S2 Universitas Terbuka (UT) Purwokerto. **Lahir di Cilacap**, pada 24 April 1964. Menyelesaikan pendidikan **S1 (Drs)** pada Jurusan Matematika UGM, 1989, dan **S2 in Statistical Science (M.Stat.Sci)** di La Trobe University Melbourne, Australia, 2000, **S3 in Statistical Science (Ph.D)** di University of Southern Queensland (USQ), Toowoomba, Brisbane, Australia, 2013. Dapat dihubungi melalui email: bpratiko@gmail.com.



| Sehah, S.Si., M.Si. |

Sehah, lahir di Kabupaten Rembang Jawa Tengah pada tanggal 06 Agustus 1971. Penulis pernah menempuh pendidikan di MI Annashriyyah, lulus tahun 1984; SMP Negeri 1 Lasem, lulus tahun 1987; dan SMA Negeri Lasem, lulus tahun 1990. Selepas SMA, penulis melanjutkan kuliah pada Program Studi S1 Fisika di Universitas Diponegoro Semarang, lulus tahun 1997. Setahun kemudian, penulis melanjutkan kuliah pada Program Magister S2 Fisika dengan konsentrasi bidang Fisika Bumi di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, lulus tahun 2001. Saat ini penulis berprofesi sebagai dosen di Program Studi S1 Fisika Universitas Jenderal Soedirman

Purwokerto, dan mengajar beberapa matakuliah seperti Gravitasi dan Geomagnet, Seismologi, Eksplorasi Geotermal, Workshop Geofisika, dan Kapita Selekta Geofisika. Selain mengajar, penulis juga aktif melakukan penelitian pada bidang Fisika Bumi atau Geofisika, antara lain:

1. Estimasi Sebaran Bitumen Batubara di Cekungan Bentarsari Kabupaten Brebes Jawa Tengah Berdasarkan Data Anomali Geomagnetik, tahun 2014.
2. Interpretasi Model Struktur Batuan Bawah Permukaan di Kawasan Pantai Widarapayung Kabupaten Cilacap Berdasarkan Data Anomali Magnetik, tahun 2016.
3. Eksplorasi Geofisika Metode Magnetik dan Geolistrik untuk Menginvestigasi Potensi Bijih Besi dan Dampak Eksploitasinya di Kawasan Pesisir Kabupaten Cilacap (Studi Kasus: Kawasan Pesisir Kecamatan Binangun dan Kecamatan Nusawungu, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah), tahun 2017 – 2018.
4. Penggambaran Pseudosection Sistem Hidrogeologi Pantai Berdasarkan Survei Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi Wenner, tahun 2018.
5. Pemetaan Sebaran dan Potensi Batuan Andesit Berdasarkan Data Anomali Magnetik Lokal di Desa Candiwulan dan Desa Karangcegak Kecamatan Kutasari Kabupaten Purbalingga Jawa Tengah, tahun 2019.

Dapat dihubungi melalui email: sehah.geophysics@gmail.com



| Agus Sugandha, M.Si. |

Agus Sugandha adalah dosen Matematika FMIPA Unsoed Purwokerto. Berkarir sebagai dosen sejak 2006. Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Pendidikan Matematika, Universitas Negeri Yogyakarta dan S2 di Jurusan Matematika, Universitas Gadjah Mada. Bidang keahlian adalah Teori Bilangan dan Teori Ergodik. Aktif dalam penelitian, pengabdian, seminar dan publikasi. Catatan publikasi artikel terindeks Scopus sebanyak tujuh dengan lima diantaranya dalam Teori Bilangan khususnya Persamaan Diophantin Non-Linier. Dapat dihubungi melalui email: agussugandha1974@gmail.com.



| **Dr. Ponco Iswanto** |

Ponco Iswanto, lahir di Jakarta, 1 Januari 1974. Saat ini adalah dosen di Jurusan Kimia, Universitas Jenderla Soedirman, Purwokerto. Menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana di Jurusan Kimia Universitas Padjadjaran Bandung, 1997. Gelar magister diraih di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2001 dengan mengambil spesialisasi bidang Kimia-Fisika. Pada tahun 2011 menyelesaikan S3 di Universitas Gadjah Mada dengan konsentrasi Kimia Komputasi. Pengalaman penelitiannya telah dimulai sejak lulus S1 hingga saat ini, dengan beberapa diantaranya merupakan penelitian kerjasama dengan *supervisor* dari berbagai negara. Publikasi artikelnya dilakukan melalui seminar nasional, internasional dan dalam jurnal ilmiah bereputasi. Dapat dihubungi melalui email: poncoiswanto@gmail.com.



| **Prof. Dr.rer.nat Harno Dwi Pranowo** |

Harno Dwi Pranowo, lahir di Banyuwangi, 31 Juli 1965. Saat ini menjabat sebagai Guru Besar di Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Gadjah Mada. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di Jurusan Kimia, Universitas Gadjah Mada dan S3 diselesaikan di University of Innsbruck, Austria dengan konsentrasi Kimia Komputasi. Saat ini menjabat sebagai Ketua Umum (*President*) Himpunan Kimia Indonesia (HKI) Pusat. Pernah menjabat sebagai Direktur Utama UGM Press. *Hobby* fotografinya disalurkan menjadi sebetuk karya-karya sastra. Setidaknya tujuh buah buku telah diterbitkan dengan salah satu diantaranya adalah *Di Balik Lensa Kata*, *Memotret Kehidupan Dalam Kata*, *Antologi Puisi Fotografi*, ditulis bersama penyair Novi Indrastuti. Karya bukunya yang paling *anyar* adalah Kimia Organik Fisik yang diterbitkan oleh Gadjah Mada *University Press*

tahun 2019. Karya-karya ilmiahnya terbit melimpah dalam berbagai jurnal internasional. Dapat dihubungi melalui email: harnodp@ugm.ac.id; harnopranowo@yahoo.com.



| Agung Prabowo, S.Si., M.Si. |

Agung Prabowo adalah dosen Matematika FMIPA Unsoed Purwokerto. Lahir di Gombong, Kebumen pada 23 Februari 1971. Diangkat sebagai CPNS Unsoed pada tahun 2005 dengan bergabung di Fakultas Pertanian. Diangkat sebagai PNS pada tahun 2006 juga pada Fakultas Pertanian hingga akhirnya hijrah dan bergabung dengan FMIPA seiring dengan berdirinya FMIPA pada tahun 2014. Menyelesaikan pendidikan sebagai Sarjana pada Jurusan Matematika, FMIPA ITB tahun 1998 dan Magister pada Program Studi Sains Aktuaria, FMIPA ITB tahun 2001. Pernah menempuh pendidikan doktoral di Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) Bandung pada Jurusan Pendidikan Matematika. Saat ini tercatat sebagai mahasiswa doktoral di Universitas Sultan Zainal Abidin, Malaysia. Hingga saat ini telah menerbitkan 13 buah buku, satu di antaranya adalah *The Paku Buwono Code*. Salah satu prestasi puncaknya adalah meraih Unsoed Award 2016 dalam Bidang Pengembangan Pembelajaran pada Dies Natalis Unsoed ke-53. Prestasi lainnya adalah menjadi salah satu peraih Hibah Buku Teks DIKTI pada tahun 2013, peraih Hibah Buku Ajar DIKTI pada tahun 2015, dan pembimbing PIMNAS (Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional tahun 2016 di IPB). Dalam kajian Matematika Jawa, penulis berhasil mempublikasikan 6 (enam) buah artikel terindeks scopus, disamping 10 (sepuluh) artikel dalam bidang matematika lainnya yang juga terindeks scopus (3 artikel asuransi pertanian, 1 artikel statistika, 1 artikel asuransi kerugian, dan 5 artikel persamaan Diophantin). Beberapa karyanya yang dianggapnya cukup monumental didaftarkan hak ciptanya sehingga terkumpul sebanyak 4 (empat) buah hak cipta. Dapat dihubungi melalui email: agung_nghp@yahoo.com.