



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

Jalan Prof. Dr. Bunyamin No. 708 Kotak Pos 115 – Purwokerto 53122

Telepon (0281) 635292, 635293, 638795 - Fax. (0281) 631737, 631802

Laman : www.unsoed.ac.id

KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
NOMOR 1135/UN23/PT.01.02/2022

TENTANG

PELAKSANA PENELITIAN SKEMA RISET TERAPAN
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN TAHUN ANGGARAN 2022

Pt. REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN,

Menimbang

- a. bahwa perguruan tinggi mempunyai tugas menyelenggarakan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat;
- b. bahwa untuk memenuhi kualitas dan kuantitas penelitian di Universitas Jenderal Soedirman, maka perlu dilakukan penelitian secara kompetitif dan memenuhi standar mutu;
- c. bahwa untuk itu perlu diangkat pelaksana Penelitian Skema Riset Terapan dengan Keputusan Rektor Universitas Jenderal Soedirman;

Mengingat

1. Undang-Undang RI Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara;
2. Undang-Undang RI Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
3. Undang-Undang RI Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
4. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
5. Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 195 Tahun 1963 jo Kept. Menteri PTIP No. 153 Tahun 1963 tentang Pendirian Unsoed;
6. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 28 Tahun 2017 tanggal 10 April 2017 tentang Statuta Universitas Jenderal Soedirman;
7. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 10 Tahun 2016 jo Nomor 23 Tahun 2017 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unsoed;
8. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 39/PMK.02/2021 tentang Standar Biaya Keluaran (SBK) Tahun Anggaran 2022;
9. Surat Perintah Menteri Pendidikan, Kebudayaan Riset, dan Teknologi Nomor 28160/MPK.A/KP.08.00/2022 tentang Pelaksana Tugas (Pt) Rektor Universitas Jenderal Soedirman;

MEMUTUSKAN:

- Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN TENTANG PELAKSANA PENELITIAN SKEMA RISET TERAPAN UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN TAHUN ANGGARAN 2022.
- KESATU : Menugaskan kepada dosen yang namanya tercantum dalam lampiran keputusan ini untuk melaksanakan penelitian yang judul, biaya, waktu dan tugas dalam penelitian masing-masing termaktub dalam keputusan ini selanjutnya disebut "Peneliti".
- KEDUA : Dalam melaksanakan tugasnya "Peneliti" membuat laporan dan bertanggung jawab kepada Rektor Universitas Jenderal Soedirman.
- KETIGA : Penelitian dilakukan selama 8 (Delapan) bulan mulai 17 Maret 2022 sampai dengan 30 November 2022.
- KEEMPAT : Biaya pelaksanaan penelitian di bebaskan kepada DIPA BLU LPPM Unsoed.
- KELIMA : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Purwokerto
Pada Tanggal, 10 Mei 2022

Pt. REKTOR,

AKHMAD SODIQ



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

UNIT PELAKSANA TEKNIS PERPUSTAKAAN

Jalan Prof.Dr.HR.Boenjamin 708 Kotak Pos 115 Grendeng Purwokerto 53122

Telepon (0281) 635292 (hunting), Ext. 218,228,229 Faksimile 630845

Surel : perpus@unsoed.ac.id Laman : <http://perpus.unsoed.ac.id>

SURAT KETERANGAN

Nomor : 46/UN23.24/PT.01.08/2023

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala UPT Perpustakaan Universitas Jenderal Soedirman menyatakan bahwa telah menerima hasil karya tulis ilmiah berupa Laporan Akhir Terapan Unsoed - Lanjutan.

Judul : DETEKSI KEMUERNIAN DAN ADULTERASI MINYAK
NILAM BERBASIS SISTEM PENCIUMAN ELEKTRONIK
(*E-NOSE*).

Peneliti/Tim Peneliti : Arief Sudarmaji, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Agus Margiwiyatno, M.S., Ph.D.
Dr. Ir. Saparso, M.P.
Ropiudin, S.TP., M.Si.

Diterima Tanggal : 13 Februari 2023

Kepala,



Djoko Prasetyo, S.Sos., M.IP.
NIP 19670923 198803 1 001

Tema: Ilmu dasar dan rekayasa keteknikan (basic science and engineering)

**LAPORAN AKHIR
RISET TERAPAN UNSOED - LANJUTAN**



Deteksi Kemurnian dan Adulterasi Minyak Nilam Berbasis Sistem Penciuman Elektronik (E-Nose)

OLEH

Arief Sudarmaji, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Agus Margiwiyatno, MS. Ph.D.

Dr.Ir. Saparso, MP.

Ropiudin, S.TP., M.Si.

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
PURWOKERTO
2022**

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

Riset Terapan Unsoed - Lanjutan

Judul	: Deteksi Kemurnian dan Adulterasi Minyak Nilam Berbasis Sistem Penciuman Elektronik (E-Nose)
Ketua	
Nama Lengkap dan Gelar	: Arief Sudarmaji, S.T., M.T., Ph.D.
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
NIP	: 197705012006041002
Fakultas	: FAKULTAS PERTANIAN
Anggota	
Jumlah Anggota	: 3 orang
Nama Anggota	: 1. Ir. Agus Margiwiyatno, MS. Ph.D. 2. Dr.Ir. Saparso, MP. 3. Ropiudin, S.TP., M.Si.
Lokasi Penelitian	: FAKULTAS PERTANIAN
Lama Penelitian	: 9.00 bulan
Biaya yang Diajukan	: 39.000.000

Purwokerto, 30-11-2022

Mengetahui,
Pimpinan Unit



Prof. Dr. Ir. Sakhidin M.P.
NIP 196304221989031004

Mengetahui,
Ketua LPPM



Prof. Dr. Rifda Naufalin, MS
NIP 197011211995122001

Ketua



Arief Sudarmaji S.T., M.T.,
Ph.D.
NIP 197705012006041002

Deteksi Kemurnian dan Adulterasi Minyak Nilam Berbasis Sistem Penciuman Elektronik (*E-Nose*)

Ringkasan

Minyak Nilam merupakan komoditas potensial ekspor dan unggulan Kabupaten Banyumas yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Banyak UKM yang bergerak dalam usaha Minyak Nilam. Sayangnya kualitas Minyak Nilam yang dihasilkan banyak yang belum memenuhi standar mutu. Dan UKM pengepul sering mengalami kerugian akibat adulterasi (pengoplosan) oleh petani. Pengepul kesulitan untuk mengetahui kualitas dan kemurnian Minyak Nilam yang diperoleh saat dijual ke industri besar. Ketersediaan piranti pengukur kadar kemurnian dan penduga pengoplosan pada Minyak Nilam untuk skala UKM menjadi penting. Penelitian ditujukan untuk merespon kebutuhan tersebut dengan memanfaatkan **deret beragam sensor gas** sebagai pengindera yang dikonstruksi dalam **Sistem Penciuman Elektronik (*e-Nose*)** untuk mengidentifikasi kemurnian dan keberadaan zat pengoplos pada Minyak Nilam.

Penelitian dilakukan dengan metode pengembangan dan eksperimen. Ini adalah penelitian Tahun ke-3. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pertanian Unsoed selama 8 bulan dengan menerapkan hasil yang diperoleh Tahun ke-1 dan ke-2. Sistem *e-Nose* yang dibangun terdiri atas deret sensor gas, unit akuisisi, dan unit pengenalan ciri. Diuji 3 macam deret sensor gas, yaitu sensor dengan teknologi *Metal Oxide Semiconductor (MOS)*, *Micro-electromechanical system (MEMS)*, dan sensor *Non Dispersive Infrared Detector (NDIR)* untuk mengindera aroma minyak nilam yang dibangkitkan dalam *Headspace*. Luaran sensor diakuisisi menggunakan unit antarmuka berbasis Arduino Mega 2560. Pada masing-masing klasifikasi, **jenis bahan/sampel** yang diujikan antara lain: kadar Minyak Nilam (2 kadar), jenis zat pengoplos (5 jenis), dan kadar zat pengoplos (3 kadar). **Variabel** yang diamati antara lain: (1) luaran sensor gas (saat mengukur referensi dan saat mengukur Minyak Nilam), dan (2) parameter mutu Minyak Nilam (kadar komponen utama, kadar pengotor, indeks bias, *density*, kelarutan dalam alkohol, dan warna). Respon, sensitivitas, dan selektivitas tiap sensor gas terhadap parameter mutunya ditentukan dengan **analisa** grafik, boxplot, dan *Principle Component (PCA)*. Sedangkan unit **pengenal ciri** yang diujikan untuk memperoleh yang terbaik dalam mengidentifikasi kualitas dan adulterasi Minyak Nilam antara lain: *Linear Discriminant Analysis (LDA)*, *Neural Network*, dan *Support Vector Machine*.

Pengukuran menggunakan metode GC/MS untuk tiap sampel minyak nilam menunjukkan bahwa minyak nilam murni yang berasal dari dua UMKM tidak mengandung zat/minyak pencampur (adulterant), dengan kadar Patchouli Alcohol yang tinggi, yaitu 31.37%. Sedangkan minyak nilam dari toko *online* menunjukkan adanya zat pencampur, sehingga dikategorikan sebagai Minyak Nilam tidak murni. Hasil pengujian deret sensor dalam sistem *e-Nose* menunjukkan sensor gas yang diujikan mampu membedakan antara jenis Minyak Nilam dengan pencampurnya, mampu mengenali Minyak Nilam yang tidak tercampur (murni) dengan Minyak Nilam tercampur. Namun untuk mengenali kelompok presentase pencampur masih terdapat miss-klasifikasi untuk membedakan secara tegas pencampur 5%, 10%, 15%, dan 20%. Sensor gas MEMS memiliki sensitivitas lebih baik dibandingkan dengan sensor MOS dan NDIR.

Kata Kunci: Minyak Nilam, Adulterasi, Pengoplosan, Sensor Gas, *e-Nose*.

The Detection of Purity and Adulteration of Patchouli Oils based on Electronic-Nose System (e-Nose)

Summary

Kata Kunci: Minyak Nilam, Adulterasi, Pengoplosan, Sensor Gas, e-Nose.

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, tuhan semesta alam yang mengatur kehidupan dengan bijaksana. Atas karunia nikmat-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan dan menyusun Laporan penelitian untuk Skim Riset Terapan Unggulan BLU Unsoed Tahun 2022 yang berjudul “Deteksi Kemurnian dan Adulterasi Minyak Nilam Berbasis Sistem Penciuman Elektronik (*E-Nose*)” dengan baik.

Tujuan dari penyusunan penelitian ini adalah dalam rangka memberikan gambaran mengenai pengukuran secara cepat, mudah, dan memadai profil volatil Minyak Nilam menggunakan deret sensor MOS (*chemoresistive*), sensor MEMS, dan sensor NDIR yang dibangun menggunakan metode pengukuran statis untuk mendeteksi zat pencampur dalam Minyak Nilam. Ketersediaan piranti pendeteksi kemurnian Minyak Nilam untuk skala UKM menjadi vital agar dapat petani atau pengepul tidak mengalami kerugian akibat praktik pencampuran/pengoplosan.

Diluar itu, penulis sebagai manusia biasa menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan makalah ini, baik dari segi tata bahasa, susunan kalimat maupun isi. Oleh sebab itu dengan segala kerendahan hati, penyusun menerima segala kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Demikian yang dapat disampaikan, semoga laporan ini dapat menambah khazanah ilmu pengetahuan dan memberikan manfaat nyata untuk masyarakat luas.

Purwokerto, 26 November 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

Ringkasan.....	1
DAFTAR ISI.....	4
BAB 1. PENDAHULUAN.....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Minyak Nilam: Kandungan senyawa volatil dan atribut mutunya.....	9
2.2 Adulterasi Minyak Nilam.....	10
2.3 Deteksi senyawa volatil menggunakan Sensor Gas MOS.....	11
Gas Sensor MOS: Mekanisme dan <i>Modelling</i>	11
Deteksi senyawa Volatil pada Gas Sensor MOS.....	12
2.4 Pengukuran minyak atsiri berbasis Sensor Gas.....	13
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	15
3.1 Tujuan Penelitian.....	15
3.2 Manfaat Penelitian.....	15
BAB 4. METODE PENELITIAN.....	16
4.1 <i>Roadmap</i> Penelitian.....	16
4.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
4.3 Tahapan Penelitian.....	17
BAB 5. HASIL YANG DICAPAI.....	23
5.1 Capaian kegiatan.....	23
5.2 Sistem Pengukuran Minyak Nilam dengan Sistem Transport Aroma Dinamis-Otomatis 23	
5.3 Hasil Pengujian GC/MS Sampel Minyak Nilam murni dan Pencampur.....	25
5.4 Identifikasi Adulterasi Minyak Nilam dengan Minyak Kemiri dengan Berbagai Campuran.....	26
5.4.1 Sinyal Temperature Modulation-Specified Detection Point (TM-SDP).	Error!
Bookmark not defined.	
5.5 Pengukuran Sampel Minyak Cengkeh dan Minyak Nilam dengan <i>Gas</i> <i>Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	Error! Bookmark not defined.
5.6 Respons Sensor gas MOS pada berbagai sinyal Modulasi untuk Minyak Nilam ...	Error!
Bookmark not defined.	

5.7	Pengujian selektifitas deret 6 sensor gas MOS terpilih untuk membedakan minyak nilam.	Error! Bookmark not defined.
BAB 6.	RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	Error! Bookmark not defined.
6.1	Karakterisasi untuk memperoleh sensor MEMS dan NDIR yang optimum untuk mengukur dan membedakan/mengenal kemurnian Minyak Nilam	Error! Bookmark not defined.
6.2	Analisa.....	Error! Bookmark not defined.
6.3	Pengujian algoritma pengenalan ciri (<i>pattern recognition</i>) untuk membedakan Kategori Minyak Nilam.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	41
Lampiran A. Dokumentasi Penelitian.....		45
Lampiran B. Hasil Pengujian GC / MS.....		55

BAB 1. PENDAHULUAN

Peluang bisnis minyak atsiri di Indonesia masih sangat luas dan terbuka lebar. Dari 300an jenis minyak atsiri di dunia, baru sekitar 40 jenis yang sudah dikembangkan. Minyak Nilam dan Minyak cengkeh merupakan minyak atsiri komoditas ekspor yang tinggi permintaannya [1]. Saat ini total ekspor minyak atsiri Indonesia sekitar 300 juta dolar per tahun dengan nilai ekspor minyak nilam tercatat 1.500 ton per tahun [2].

Khusus minyak nilam, komoditas ini merupakan komoditas ekspor potensial dan unggulan dimana Indonesia menjadi pemasok utama kebutuhan pasar internasional [2], [3]. Data Dewan Atsiri Indonesia (DAI) menyebutkan suplai minyak nilam dari Indonesia mencapai 90% disusul minyak pala sekitar 80% dan minyak daun cengkeh kisaran 70% ke pasaran dunia [2]. Nilai ekonomis minyak nilam juga tinggi. Harga jual minyak nilam pada Maret 2019 tembus Rp 600.000/kg dari sebelumnya Desember 2018, Rp 400.000/kg. Sejak awal tahun ini harga jual hasil produksi terus mengalami kenaikan. Harga tertinggi minyak nilam pernah mencapai Rp 1 juta/kg [4].

Di wilayah Kabupaten Banyumas, menurut Dinperindagkop (2013) tercatat lebih dari 25 Usaha Kecil Menengah (UKM) yang bergerak dalam pengolahan minyak nilam dan cengkeh [5]. Hampir seluruh produk mereka disetor ke UKM pengepul untuk selanjutnya dijual ke industri pengolahan besar yang juga berada di Kabupaten Banyumas. Sayangnya, kualitas minyak nilam yang dijual masih banyak yang di bawah standar mutu yang berlaku sehingga harganya menjadi rendah. Menurut Kartam, pemilik UD. Sumber Urip di Kabupaten Banyumas, kadar *Patchouli alcohol* Minyak Nilam yang dihasilkan petani sekitar 30%, bahkan dibawahnya. SNI kandungan minimal *Patchouli alcohol* dalam Minyak Nilam adalah 30% [6].

Selain penggunaan alat penyulingan yang masih tradisional, penyebab lainnya adalah adanya pengoplosan (adulterasi). Tingginya permintaan dan nilai ekonomis minyak nilam menyebabkan banyak terjadinya kecurangan, berupa pengoplosan, di tingkat UKM pengepul yang dilakukan oleh petani UKM kecil. Pengoplosan biasanya dengan mencampur minyak lain yang lebih murah dan mirip dengan minyak nilam [7]. Petani suka mencampur minyak nilam dengan minyak sayur sawit atau minyak biosolar. UKM pengepul merasa kesulitan untuk mengetahui kualitas kemurnian dan mengindikasikan minyak nilam teroplos. UKM pengepul mengalami kerugian akibat adulterasi (pengoplosan) Minyak Nilam. Kendala yang dihadapi

adalah tidak adanya alat ukur untuk mengetahui kualitas hasil penyulingan dan pendeteksi keberadaan zat pengoplos. Oleh karena itu ketersediaan alat pendeteksi kemurnian (kadar *Patchouli alcohol*) dan adulterasi Minyak Nilam untuk skala UKM menjadi vital.

Saat ini, penentuan kadar *Patchouli* dan komponen lainnya Minyak Nilam secara akurat dan banyak dipakai oleh industri Minyak Nilam adalah menggunakan metoda Gas Chromatography-Mass Spectrometry [3]. Namun metoda tersebut tidak mungkin digunakan oleh UKM karena kompleksitas penggunaan dan harga pirantinya sangat mahal. Dan penggunaan alat ukur berat jenis semata jelas tidak dapat untuk menduga keberadaan pengotor/pengoplos pada Minyak Nilam. Oleh karena itu, perlu upaya pengembangan alat ukur yang memadai untuk level UKM.

Salah satu teknik potensial untuk mengukur Minyak Nilam adalah berdasarkan aroma dengan prinsip penciuman elektronik (*e-Nose*) yang memanfaatkan deret sensor gas sebagai pengidera. Beberapa studi yang telah memanfaatkan deret gas sensor MOS, diantaranya Kim et al. (2013) membedakan minyak atsiri yang berasal dari jeruk manis, bunga kamomil, dan bunga melati [8]. Gorji-chakespari et al. (2016) mendeteksi dan mengklasifikasi ragam minyak *Rosa Damascena* dalam tiga kategori [9]. Dengan demikian melalui pengukuran aroma menggunakan deret sensor dan dengan algoritma pengenalan ciri (dikenal sebagai penciuman elektronik) diyakini dapat untuk mendeteksi kemurnian dan keberadaan zat pengoplos pada Minyak Nilam.

Sifat sensor gas pada *e-Nose* pada umumnya secara individual tidak spesifik terhadap satu senyawa saja melainkan bersifat *cross-sensitivity* dalam merespon senyawa yang berbeda [10]. Satu teknik yang telah lama diteliti dan berhasil untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas MOS adalah *Temperature Modulation* [11]–[15]. Teknik ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh **Sudarmaji** & Kitagawa (2015) yang dikenal dengan *Temperature Modulation with Specified Detection Point (Temperature Modulation-SDP)* [16]. **Sudarmaji** et al. (2018) menggunakan teknik tersebut untuk mengukur volatil dan dapat membedakan dengan jelas antara Minyak Nilam dengan Minyak Cengkeh [17], selanjutnya Margiwiyatno & **Sudarmaji** (2020) memprediksi kandungan eugenol menggunakan metode PCA dan SVM [18].

Pada penelitian di Tahun 1 dan 2, telah dikonstruksi sistem pengukuran gas dan senyawa volatil Minyak Nilam menggunakan deret sensor gas MOS (Seri TGS, MQ, dan FIS). Deret sensor tersebut dioperasikan dalam mode dinamis dengan teknik *Temperature Modulation-SDP*. Luaran deret sensor diakuisisi ke sebuah PC menggunakan piranti berbasis PSoC CY8C28445-24PVXI. Sistem diujikan untuk mengukur/membedakan aroma Minyak Nilam yang tercampur (3

jenis pencampur dan 2 persentase pencampur). Hasil menunjukkan pengukuran optimum pada *Temperature Modulation-SDP* dengan frekuensi 0,25 Hz. Dengan analisa PCA, sistem mampu membedakan antara Minyak Nilam murni dengan Minyak Nilam yang tercampur. Namun, masih ada kesalahan identifikasi untuk mengenali jenis pencampur dan kadarnya. Dari kesembilan sensor yang diujikan hanya sensor MQ-5 yang paling kurang sensitif untuk membedakan macam Minyak Nilam tercampur [19].

Seiring perkembangan teknologi sensor gas, dua teknologi yang saat ini banyak dikembangkan dengan beragam target gas adalah *Micro-Electro-Mechanical Systems* (MEMS) dan *Non Dispersive Infrared Detector* (NDIR). MEMS merupakan gas sensor multi sensitif, kecil, dan kompak yang dapat mengindra beberapa gas analit dalam satu keeping/kemasan. MiCS merupakan salah satu sensor gas MEMS dengan prinsip MOS yang memiliki banyak seri untuk beragam gas target. Sedangkan NDIR yang merupakan sensor gas dengan prinsip absorpsi sinar infra merah oleh molekul gas memiliki kelebihan rendah energi, dan memiliki sensitifitas tinggi untuk gas spesifik/tertentu[20].

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Nilam: Kandungan senyawa volatil dan atribut mutunya.

Minyak atsiri, yang juga dikenal dengan minyak volatil atau minyak eteris, merupakan minyak nabati yang dihasilkan dari proses metabolisme dalam tanaman yang terbentuk karena reaksi berbagai senyawa kimia dan air. Minyak atsiri bersifat mudah menguap pada suhu kamar tanpa mengalami dekomposisi dan mudah larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, petroleum, benzene, namun tidak larut dalam air. Sifat lainnya antara lain mempunyai rasa getir, berbau wangi sesuai dengan bau tanaman penghasilnya, yang diambil dari bagian-bagian tanaman seperti daun, buah, biji, bunga, rimpang, kulit kayu [21].

Komponen utama dan yang menimbulkan bau dominan dari Minyak Nilam ditentukan oleh senyawa *Patchouli Alcohol* [22]. Karakteristik fisika-kimia yang dijadikan sebagai atribut mutu dalam minyak atsiri antara lain: aroma, warna, bobot jenis, indeks bias, putaran optis, kelarutan dalam alkohol, bilangan asam, dan bilangan ester. Tabel 2 menunjukkan Standar Nasional Indonesia (SNI) Minyak Nilam yang berasal dari daunnya. Sedangkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi mutu minyak atsiri diantaranya kondisi bahan baku yang dipengaruhi penanganan pra hingga pasca panen, peralatan dan metode penyulingan, serta cara penyimpanan produk [3].

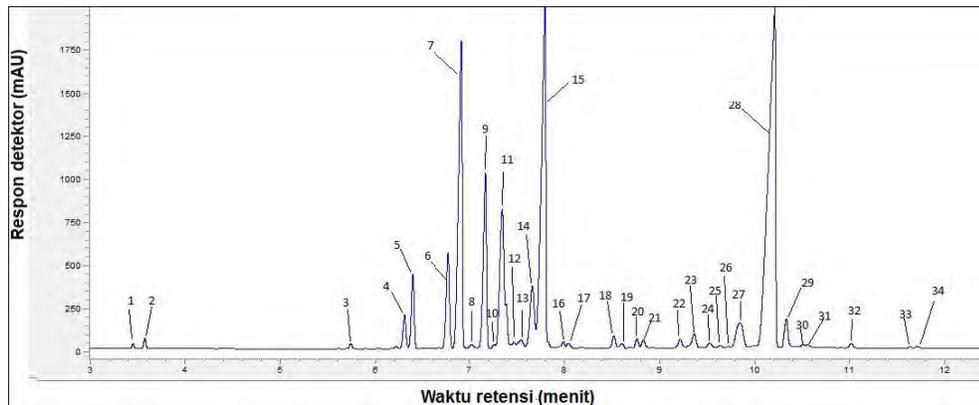
Tabel 2. Standar Mutu Minyak Nilam [6].

No	Parameter	Minyak Nilam (SNI 06-2385-2006)
1.	Warna	Kuning muda–coklat kemerahan
2.	Bobot Jenis	0,950 – 0,975 (25°C / 25°C)
3.	Indeks bias (ⁿ D ₂₀)	1,507 – 1,515
4.	Kelarutan dalam etanol	1 :10 jernih (etanol 90%)
5.	Komponen utama	Patchouli alcohol Min. 30%
6.	Beta caryophyllene	NA
7.	Alpha copaene (C ₁₅ H ₂₄)	Maks. 0,5%

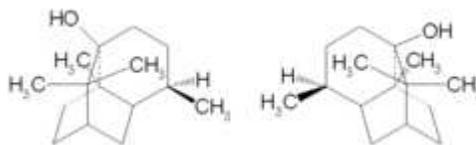
A. Minyak Nilam (*Patchouli oil*).

Patchouli alcohol (C₁₅H₂₆O) merupakan komponen aktif utama dan yang menentukan aroma dari minyak nilam. Zat ini adalah salah satu bahan baku dalam industri parfum dan insektisida. Karakter odor dari minyak nilam yaitu adalah *woody* dan *balsamic*. Minyak nilam merupakan salah satu jenis minyak atisiri yang tidak dapat digantikan

menggunakan bahan sintetis [23]. Selain patchouli alcohol, komponen utama lainnya diantaranya *alpha guaiene*, *seychellene*, *alpha patchouelene* dan *alpha bulnesene*. Tipikal ada 30 komponen senyawa volatil yang teridentifikasi pada minyak nilam menggunakan analisa GC-MS, seperti terlihat dalam Gambar 1 [24]. Gambar 2 memperlihatkan struktur senyawa eugenol dan patchouli alcohol pada minyak cengkeh dan nilam.



Gambar 1. Kromatogram GC minyak nilam Indonesia (asal Jawa, Sulawesi, Sumatra)



Gambar 2. Struktur senyawa Patchoulol.

2.2 Adulterasi Minyak Nilam.

Adulterasi atau pengoplosan adalah pencampuran dengan menambahkan bahan bahan lain dengan maksud tertentu. Adulterasi sering dilakukan untuk menambah berat dari bahan murni maupun untuk menghemat ongkos produksi. Menurut Schmidt and Wanner, (2016), pemalsuan dalam perdagangan minyak atsiri telah dilakukan dari jaman dahulu, yaitu dengan cara menambahkan bahan bahan asing kedalam minyak atsiri dengan maksud menambah volume, berat minyak atau memenuhi persyaratannya.

Penambahan minyak yang lebih murah dalam minyak atsiri dengan tujuan menambah volume minyak banyak dilakukan dalam perdagangan minyak nilam. Adulterasi minyak nilam yang sering terjadi adalah dengan dicampur dengan gurjan balsam, minyak sayur dan minyak kayu cedar, minyak lada, dan minyak kapur barus putih. Pendeteksian zat adulterasi pada Minyak Nilam dilakukan dengan metode GC-MS [25]–[27]

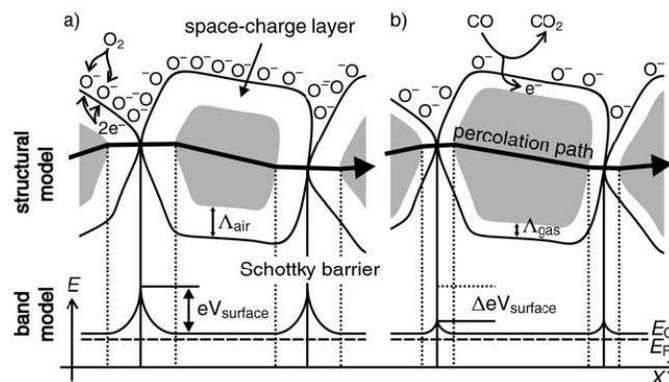
Di Indonesia zat pengoplos/pemalsuan yang sering dilakukan adalah menambahkan minyak sayur/kelapa, karena minyak ini dapat bercampur sempurna dengan minyak nilam, harganya murah, mudah didapat dan relatif tidak menimbulkan bau (Ma'mun, 2003). Penambahan minyak sayur kedalam minyak nilam akan memperbesar bilangan ester dan kelarutan dalam alkohol. Selain itu Ma'mun (2003) juga menemukan zat pengoplos lain dalam Minyak Nilam seperti minyak tanah, minyak keruing, terpentin, dan pelarut organik.

2.3 Deteksi senyawa volatil menggunakan Sensor Gas MOS.

Gas Sensor MOS: Mekanisme dan Modelling

Sensor gas MOS (*Metal Oxide Semiconductor*), yang dikategorikan sebagai sensor *chemo-resistive* (perubahan nilai resistansi secara kimiawi saat mendeteksi keberadaan target), pada dasarnya terbentuk dari dioksida logam yang di-*sinter* pada suhu tinggi sehingga terbentuk sebuah semikonduktor. Bahan semikonduktor yang dihasilkan ini mempunyai porisotas yang tinggi sehingga molekul-molekul gas dapat dengan mudah melaluinya [28].

Prinsip kerja secara umum adalah berubahnya nilai konduktifitas/resistansi saat adanya gas-gas reduksi disekitar sensor. Mekanisme *ionosorption* mengguakan pendekatan *phenomenological*, yang telah diterima secara luas [28]. Mekanisme ini dapat digambarkan dalam struktural dan pita *band* sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.

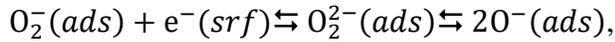
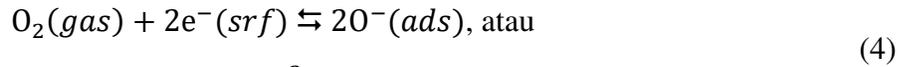
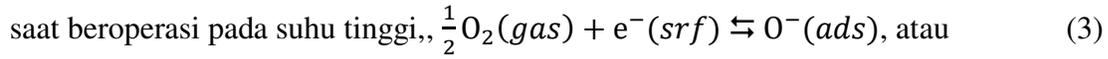
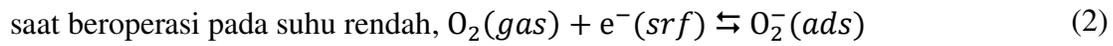
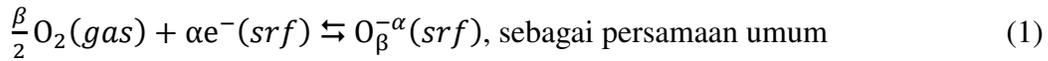


Gambar 3. Mekanisme *ionosorption* untuk interksi lapisan *grain bulk* semikonduktor dengan atmosferik O₂ saat (a) sebelum dan (b) sesudah paparan gas pereduksi CO (Wang *et al.*, 2010).

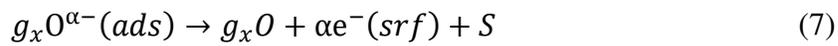
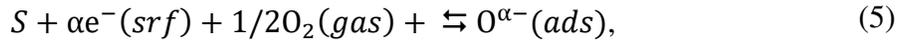
Perubahan resistansi sensor pada lapisan *film* tipis sensor akibat terjadinya adsorpsi molekul-molekul oksigen/gas pada permukaan semikonduktor saat dikenai/dipanasi pada suhu tinggi. Pada kisaran suhu antara 150°C and 400°C, oksigen di sekitar lapisan permukaan akan terabsorpsi menjadi ion (O₂⁻ atau O⁻, tergantung suhu kerja sensor) dengan mengikat elektron dari *bulk* semikonduktor sehingga membentuk *potential barrier* pada *grain boundaries* yang

mengakibatkan meningkatnya nilai resistansi sensor (pada semikonduktor tipe-n) [28], [30]. Kemudian saat sensor dikenai suatu gas pereduksi, gas pereduksi akan teroksidasi oleh ion (O⁻) dan melepas elektron ke *bulk* semikonduktor. Sejalan dengan berkurangnya jumlah ion pada permukaan dan penambahan elektron mengakibatkan *potensial barrier* antara dua grain menurun (dengan kata lain resistansinya menurun). Sehingga elektron akan mudah melewati celah antar *grains* dalam lapisan semikonduktor.

Dan untuk model proses *ionosorption* dapat dijabarkan dalam persamaan 1 sampai 7 sebagai berikut [28], [31]:



Selanjutnya model yang menggambarkan respon semikonduktor terhadap komposisi molekul gas saat sensor beroperasi pada suhu tinggi ditunjukkan dalam persamaan 5 sampai 7, sebagaimana dijabarkan oleh Nakata, Hashimoto, & Okunishi (2002) dan Nakata *et al.* (2006).



dimana S = permukaan daerah adsorpsi, e⁻ = eletron bebas, (α,β=1 or 2) = oksigen terabsorpsi, O(sub) = atom gas oksigen yang teraktivasi karena pemanasan pada sensor, g_x is sampel gas dalam fase *bulk* atau, g_x O_{ad}^{m-} = g_x yang teradsorpsi pada permukaan sensor.

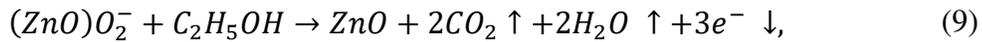
Deteksi senyawa Volatil pada Gas Sensor MOS.

Secara intrinsik, dua hal yang menentukan performansi sensitifitas suatu gas sensor MOS terhadap suatu target gas adalah bahan metal oksida dan logam katalis tambahan (*catalytic metal additives*) pada metal oksida. Selektivitas gas cenderung dipengaruhi oleh jenis dan komposisi katalisnya, seperti beberapa contoh yang dirangkum oleh Yamazoe *et al.* (2003) dalam Tabel 2.

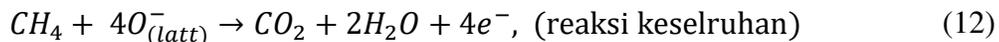
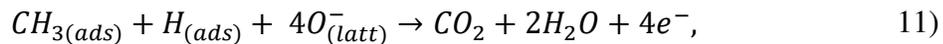
Tabel 2. Beberapa bahan kalalis logam pada bahan dasar metal oksida, khususnya SnO₂ yang sensitif terhadap senyawa volatil alkohol [34].

Bahan Oksida	Jenis Katalis	Target	Konsentrasi
SnO ₂	Ag (3 wt%)	H ₂ , C ₃ H ₈	100–5000 ppm
SnO ₂	ZnO (3 at%)	H ₂ S, CH ₃ SH	10 ppb–10 ppm
SnO ₂	La ₂ O ₃ (5 wt%)	C ₂ H ₅ OH	100–1000 ppm
Pd–SnO ₂ –Sb	SiO ₂ coating	H ₂	100 ppm
SnO ₂	0.5Pt–Al ₂ O ₃ coating	C ₃ H ₈	5000 ppm

Dalam deteksi senyawa alkohol, seperti ethanol (C₂H₅OH), Ketika bahan dasar semikonduktor pada sensor MOS adalah tipe-n (seperti ZnO), maka konduktifitas pada permukaan semikonduktor akan meningkat berdasarkan reaksi yang ditunjukkan dalam persamaan 8 dan 9.



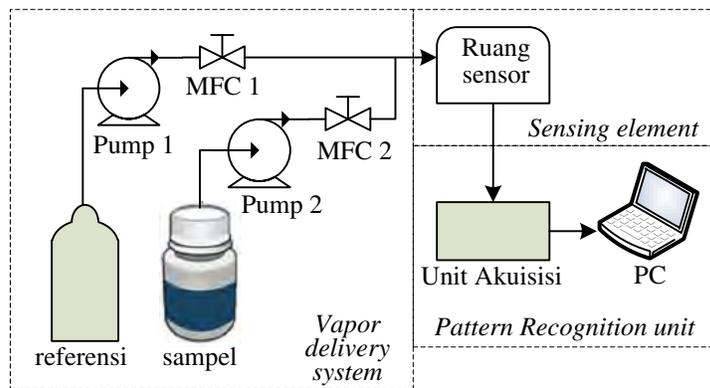
Contoh lain, dalam deteksi gas CH₄, Quaranta *et al.* (1999) melaporkan bahwa selektivitas dan sensitivitas sensor berbasis SnO₂ terhadap gas CH₄ dapat ditingkatkan dengan menggunakan filter SiO₂, Al₂O₃ mengandung katalis logam mulia dan/atau dengan menambahkan beberapa dopan Pd, Pt, Rh ke logam oksida. Pada mekanisme deteksi gas CH₄, selain melibatkan reaksi oksidasi antara metana dengan oksigen yang teradsorpsi namun juga melibatkan dengan oksigen *lattice* terutama pada suhu tinggi, menghasilkan CO₂ dan H₂O melalui CH_n atau CH_nO (0 < n < 4) pada tahapan *intermediate*-nya, seperti ditunjukkan pada persamaan 10, 11, dan 12 [36].



2.4 Pengukuran minyak atsiri berbasis Sensor Gas.

Metode yang menjanjikan dan telah banyak dieksplorasi dan diaplikasikan dalam pengukuran senyawa volatil yang terkandung dalam minyak atsiri atau tanaman penghasil minyak atsiri berbasis sensor gas adalah *electronic-nose (e-nose)* yang mana secara garis besar tersusun atas tiga bagian, yaitu sistem penghantar aroma (*vapor delivery system*), unit pengindera (*sensing element*), dan unit pengenalan pola (*pattern recognition unit*), sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4. Jenis sensor gas yang digunakan sebagai pengindera diantaranya adalah MOS.

Kiani *et al.* (2016) melaporkan beberapa studi dan hasil penelitian terkait aplikasi *electronic-nose* dan pemanfaatan sensor untuk penentuan, pengujian, atau identifikasi kualitas minyak atsiri yang dihasilkan dari berbagai macam tanaman obat-obatan dan aromatik. Sebagai contoh, Cui *et al.* (2015) menginvestigasi aroma ginseng menggunakan metode *e-nose* untuk mengidentifikasi usia ginseng, dimana diketahui kandungan bioaktif ginsenosida dan minyak esensial meningkat sejalan dengan usia tanaman. Memanfaatkan *e-nose* dan *e-tounge* untuk membedakan tiga jenis varietas tanaman *Perilla frutescens*. Selanjutnya metode *e-nose* pun dapat diaplikasikan untuk mendeteksi ketidakmurnian atau keberadaan zat pengoplos dalam minyak atsiri, seperti Mildner-Szkudlarz & Jeleń (2008) memanfaatkan *e-nose* berbasis sensor MOS untuk mengidentifikasi pengoplosan minyak zaitun dengan minyak kemiri, dan Marina *et al.* (2010) menggunakan deret sensor SAW untuk mendeteksi campuran minyak biji palma dalam minyak kelapa (VCO).



Gambar 4. Diagram tipikal sistem *e-nose* untuk pengukuran senyawa volatil.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian.

Secara umum tujuan penelitian adalah merancang bangun sistem *e-Nose* untuk mengetahui karakteristik ‘sidik jari’ profil luaran deret sensor gas (MEMS dan NDIR) pada beragam perlakuan/pengujian Minyak Nilam sehingga dihasilkan piranti pendeteksi kemurnian dan adulterasi pada Minyak Nilam untuk skala UKM yang cepat dan memadai.

Tujuan Khusus Penelitian.

Tahun III:

- a. Merancang bangun deret sensor gas MOS, MEMS dan NDIR yang menggunakan sistem akuisisi dari sistem *e-Nose* yang telah diperoleh Tahun 1 dan 2 untuk mendapatkan profil volatil Minyak Nilam.
- b. Menentukan deret sensor MOS, MEMS dan NDIR yang memiliki selektifitas dan sensitivitas tinggi dalam membedakan kadar Minyak Nilam dan bahan serta pengoplosnya.
- c. Mendapatkan model/persamaan untuk menentukan nilai parameter kualitas Minyak Nilam dari deret sensor gas MOS, MEMS dan NDIR terpilih.

3.2 Manfaat Penelitian.

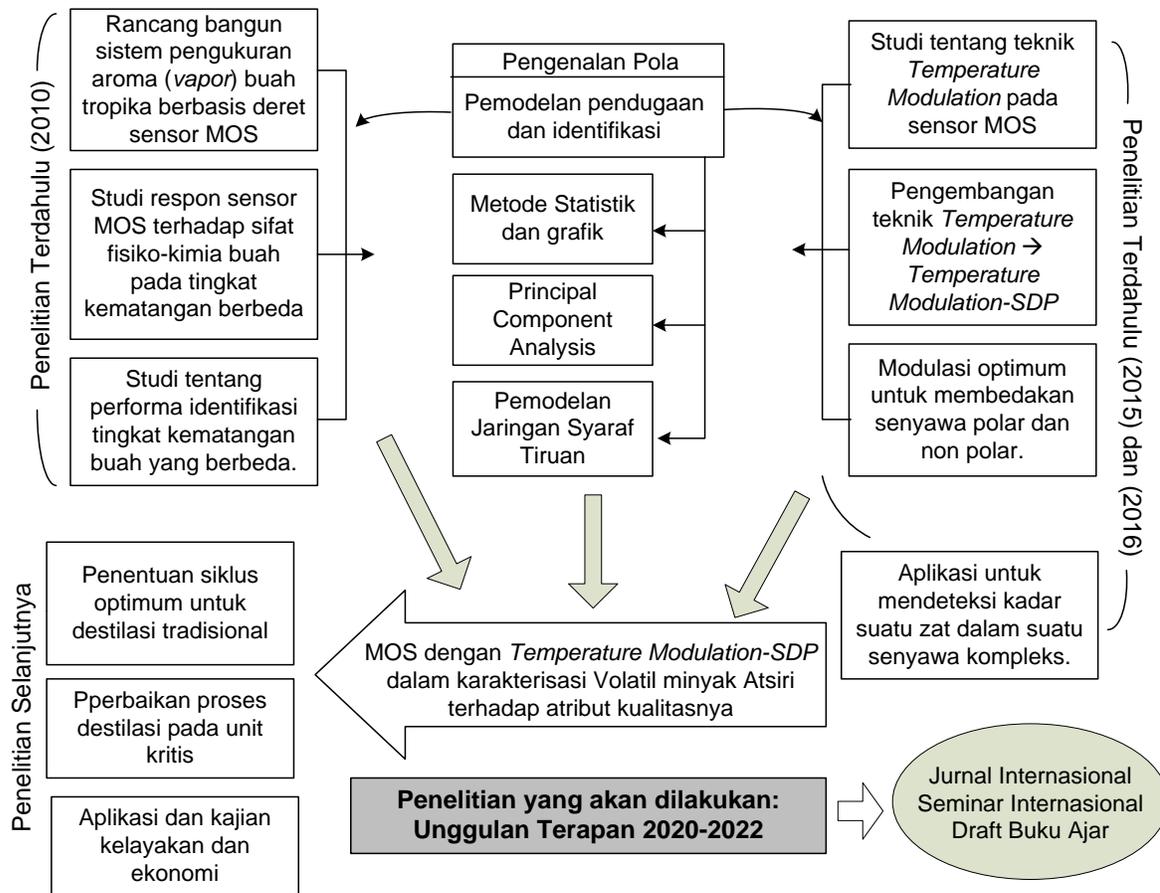
- a. Membantu petani (UKM) Minyak Nilam dalam menentukan kualitas produksi minyak atsiri dalam satu siklus produksi, sehingga dapat melakukan perbaikan pada tahapan proses guna memperoleh kualitas yang tinggi (memenuhi standar).
- b. Dapat diaplikasikan bagi pengguna untuk mendeteksi/membedakan pemalsuan atau keberadaan bahan tambahan pada Minyak Nilam.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Roadmap Penelitian.

Penelitian (studi) tentang sensor gas untuk mendeteksi komponen/senyawa *odor* yang dikeluarkan oleh suatu komoditas diawali pada Tahun 2010 melalui Hibah DIPA Unsoed. Penelitian tersebut mengenai pemanfaatan deret sensor gas MOS sebagai pendeteksi aroma buah tropika berbasis pengukuran senyawa volatilnya menggunakan deret sensor gas MOS. MOS yang digunakan terdiri atas 5 buah dan masih dioperasikan menggunakan mode statis (*constant temperature*). Hasil penelitian menunjukkan Ada korelasi positif respon deret gas sensor yang digunakan terhadap tingkat kematangan masing-masing buah tropika yang mana menghasilkan kadar volatil yang berbeda. Namun, penggunaan mode operasional statis menyebabkan perubahan (peningkatan) suhu dan kelembaban yang signifikan dalam *sensor chamber* sehingga berpengaruh pada respon MOS [41].

Dan secara spesifik, sebuah metoda/teknik untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas Sensor Gas MOS telah dikenalkan dan dikembangkan pada Penelitian Tahun 2015, dikenal dengan teknik *Temperature Modulation-SDP*. Teknik ini dapat mendorong MOS untuk memberikan respon yang unik, baik amplitudo (nilai) dan bentuk sinyal, dalam membedakan senyawa-senyawa volatil polar dan non polar (yaitu etanol, toluene, dan ammonia). Hasil menunjukkan pada 5 jenis MOS yang diujikan, teknik ini mampu meningkatkan secara signifikan (hingga 64.7%) kemampuan MOS dalam mengidentifikasi ketiga jenis senyawa tersebut dibandingkan saat beroperasi dalam mode statis [16]. Selanjutnya dengan menggunakan teknik sama diaplikasikan untuk mendeteksi keberadaan bahan dalam senyawa kompleks [42], dan berhasil untuk membedakan antara dua jenis minyak atsiri, minyak nilam dengan minyak cengkeh [17]. Peta jalan penelitian disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Peta jalan penelitian.

4.2 Waktu dan Tempat Penelitian.

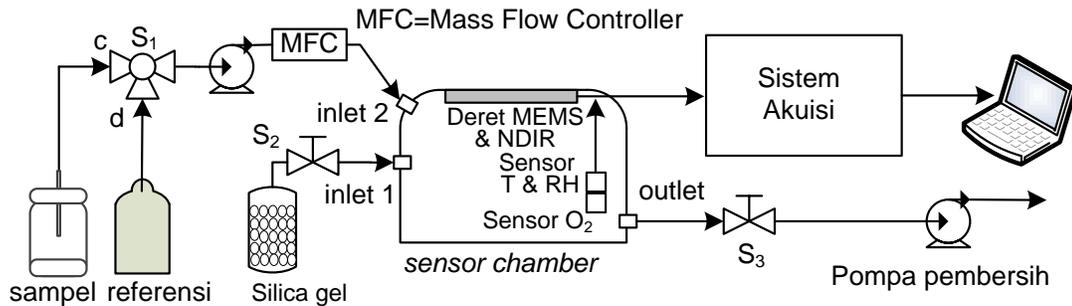
Penelitian Tahun ke-3 ini akan dilakukan secara bertahap dalam **9 bulan** di (1) Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian (**TPPHP**) PS TEP, dan (2) Laboratirium Alat dan Mesin Pertanian (**Alsintan**) PS TEP. Metode penelitian yang digunakan adalah **pengembangan dan eksperimen**.

4.3 Tahapan Penelitian.

1. Kompilasi perangkat keras dan perangkat lunak sistem pengukuran aroma Minyak Nilam.

Bagian yang di-upgrade dan diujikan adalah unit pengindera yang merupakan komponen terdepan dan utama dari sistem penciuman elektronik (*e-Nose*). **16 deret sensor (9 MQ Series, 4 MEMS dan 3 NDIR)** dipilih yang secara intrinsik didesain untuk mendeteksi senyawa-senyawa volatil yang dihasilkan oleh Minyak Nilam (Tabel 4). Selain itu digunakan dua

sensor untuk mengukur suhu dan kelembaban, dan konsentrasi oksigen dalam lingkungan *sensor chamber*. Semua sensor ditempatkan dalam sebuah *chamber* berbahan akrilik/teflon transparan 3 mm. Sistem pengukuran e-Nose berbasis deret sensor MEMS dan NDIR ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sistem pengukuran aroma Minyak Nilam berbasis sensor MEMS dan NDIR.

Tabel 4. Sensor gas MEMS dan NDIR untuk menangkap aroma dari Minyak Nilam.

No	Type	Type
1.	Sensor MOS MQ Series (9 Modul)	MOS
2.	Modul MICS-5914	MEMS
3.	Modul MICS-6814	MEMS
4.	Modul MICS-4514	MEMS
5.	Modul MiCS-5527	MEMS
6.	Modul GP2Y1014	NDIR
7.	Modul DSM501A	NDIR
8.	Modul CMD30K	NDIR

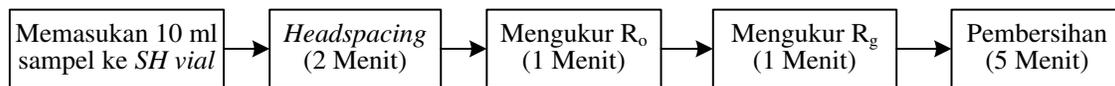
Seluruh kerja sensor diatur dan dikendalikan menggunakan antarmuka (sistem akuisisi) yang telah diperoleh sebelumnya, dengan menyesuaikan/*upgrade*: **a) perangkat keras** untuk tiap sensor gas dan sistem akuisisi itu sendiri, **b) perangkat lunak (*firmware*)** pada perangkat akuisisi PSoC CY8C28445-24PVXI dan **c) perangkat lunak (*interface software*)** pada komputer. PSoC dikonfigurasi dan diprogram menggunakan PSoC Designer 5.4, sedangkan *interface software* dikembangkan menggunakan software Visual Studio 2019.

2. Pengukuran profil volatil Minyak Nilam.

Ada 3 kondisi dalam pengukuran profil volatil Minyak Nilam dengan metode *static headspace* yaitu *idle*, *capturing*, dan *cleaning*. Lihat Gambar 7. Kondisi *idle* dan *cleaning* adalah sama, yaitu saat sensor tidak mengukur sampel, dimana aliran diatur dari bagian *silica gel* menuju pompa pembersih set dengan men-set posisi selektor-2 (S_2) terbuka, S_1 tertutup, S_3

terbuka, dan pompa pembersih *on*. Sedangkan kondisi *capturing* adalah dengan mengatur aliran dari **gas referensi (O₂)** atau **sampel Minyak Nilam** menuju *sensor chamber* dengan men-set posisi S₁ pada posisi yang dikehendaki, S₂ dan S₃ tertutup, dan pompa pembersih *off*.

Tahapan satu siklus pengukuran sampel gas, seperti yang disajikan dalam Gambar 8, adalah memasukkan **sampel Minyak Nilam** sebanyak **10 ml** ke dalam wadah sampel bersegel (*Static Headspace vial, SH vial*) dari kaca bening bervolume ±100 ml yang dilanjutkan dengan **headspacing** (membangkitkan profil gas dalam *chamber*) selama 2 menit, kemudian pengukuran R_o selama 1 menit yang diikuti pengukuran R_g selama 1 menit, sesudahnya pembersihan *sensor chamber* selama 5 menit dan kembali *idle* untuk siklus pengukuran berikutnya. Sehingga durasi dalam satu siklus pengukuran memerlukan 9 menit. *Sampling* pengukuran R_g dan R_g dalam 1 menit adalah per 2 detik. Tiap pengukuran dilakukan sebanyak **5 kali perulangan**.



Gambar 8. Tahapan satu siklus pengukuran profil volatil Minyak Nilam.

Luaran sensor gas MOS dinyatakan dengan **Resistansi (R)** dan **Sensitivitas (S)** yang didefinisikan dengan:

$$S = R_o/R_g \quad (1)$$

dimana: **R_o** adalah resistansi saat mengukur **Gas Referensi (Ω)**, dan

R_g adalah resistansi saat mengukur **sampel Minyak Nilam (Ω)**.

3. Pengukuran parameter/atribut mutu Minyak Nilam.

Ada **6 macam** pengukuran parameter/atribut mutu Minyak Nilam sesuai dengan (**SNI 06-2385-2006**), yang akan dikorelasikan dengan profil volatilnya, yaitu:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| a. kadar Patchouli Alkohol, | d. Density (berat jenis), |
| b. kadar pengotor, | e. Kelarutan dalam Alkohol, dan |
| c. Index Bias, | f. Indeks warna |

Pengujian kandungan Patchouli Alcohol dan komponen senyawa lainnya pada Minyak Nilam dilakukan dengan **Metode GC-MS**.

4. Karakterisasi profil volatil Minyak Nilam.

Setelah seluruh apparatus pengukuran volatil minyak atsiri siap, selanjutnya dilakukan karakterisasi luaran sensor gas MOS (baik individual maupun deret/kolektif) terhadap parameter/atribut indikator kualitas minyak atsiri. Sehingga diperoleh sensor gas mana yang selektif dan sensitif terhadap atribut-atribut mutu minyak atsiri, beserta *feature* optimum dari sistem pengukuran volatil untuk masing-masing Minyak Nilam.

A. Karakterisasi untuk memperoleh sensor MEMS dan NDIR yang optimum untuk mengukur dan membedakan/mengenali kemurnian Minyak Nilam.

Pengujian dilakukan pada sampel Minyak Nilam dengan berbagai perlakuan. Sampel Minyak Nilam terdiri dari campuran Minyak Nilam murni dengan bahan pengoplos/pengotor dengan berbagai konsentrasi. Minyak Nilam murni, berasal dari berbagai hasil penyulingan UKM atau penyuplai di Kabupaten Banyumas.

Ada 3 perlakuan yang diujikan yaitu:

- a. Bahan Minyak Nilam murni (4 kategori): Sangat Baik, Baik, Rendah, Sangat Rendah
- b. Bahan Pengotor/Adulterasi (3 macam): Minyak VCO, Minyak Sawit, dan Minyak Kemiri
- c. Persentase Pengotor/Adulterasi (3 taraf): 5%, 10%, dan 20%.

Dengan kontrol (pembanding) adalah pengukuran masing-masing kategori **Minyak Nilam murni** (tanpa campuran bahan pengotor).

Tiap sampel dilakukan 5 ulangan, sehingga jumlah pengukuran per katagori sampel adalah sebanyak $108 (4 \times 3 \times 3 \times 5) + 4 = 184$ pengukuran.

Variabel yang diamati antara lain:

- a. Luaran Sensor: R_o dan R_g , Sensitivitas (S), bentuk sinyal masing-masing *temperature modulation*, suhu dan kelembaban dalam sensor chamber, dan
- b. 6 Atribut mutu minyak minyak nilam sesuai SNI.

5. Analisa.

Variabel utama dalam karakterisasi luaran deret sensor MOS adalah nilai Sensitivitas (S). Secara garis besar metode analisa yang digunakan adalah:

1. Statistik (standar deviasi) dan boxplot.

Digunakan untuk mengetahui karakteristik individual sensor MOS. Analisa statistik, melalui plot grafik, memberikan informasi sensor mana yang mempunyai korelasi positif terhadap atribut mutu minyak atsiri. Parameternya adalah **nilai akurasi**, yang menyatakan tingkat kedekatan luaran pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Nilai akurasi ditentukan dengan persamaan 2, dengan \bar{x} = rerata S, t = nilai kritis $t_{\alpha, v}$ untuk distribusi t, α = trust range 100 (1- α)%, n = jumlah data dan std = nilai standar deviasi.

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{std}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

2. Principal Component Analysis (PCA).

Digunakan untuk menentukan profil selektivitas dari 9 sensor gas MOS yang menunjukkan performansinya dalam membedakan kualitas minyak atsiri. PCA dapat mereduksi dimensi data dengan membentuk dimensi baru tanpa kehilangan informasi yang dibawa dimensi sebelumnya. Dengan PCA akan diketahui sensor MOS mana saja yang menunjukkan selektivitas tinggi dari variasi perlakuan yang diberikan dalam mengukur minyak nilam.

3. *Multiple Regression*.

Dari analisa statistik dan PCA diperoleh sensor-sensor MOS, baik individu ataupun dimensi baru hasil plotting PCA, dengan optimum *features* yang selektif dan sensitif terhadap parameter atribut mutu masing-masing minyak nilam. Analisa *multiple regression* untuk mendapatkan persamaan (model) atribut mutu minyak nilam dari sensor terpilih atau *Principal Component* yang paling dominan. Multiple regression dilakukan menggunakan Matlab 2012.

B. Pengujian algoritma pengenalan ciri untuk membedakan Kategori Minyak Nilam

Setelah diperoleh sistem pengukuran e-Nose dengan deret sensor MEMS dan NDIR terpilih, dilanjutkan dengan mengujikan beberapa **algoritma program kecerdasan buatan: pengenalan ciri (*pattern recognition*)** sebagai metode indentifikasinya, untuk memperoleh model yang paling baik dalam membedakan kategori Minyak Nilam dan menduga keberadaan adulterasi (jenis dan kadarnya) pada sistem e-Nose. Metode (algoritma) yang akan diujikan antara lain:

(1) *Linear Discriminant Analysis* (LDA), dan

(2) *Neural Network* (NN).

Keterlibatan mahasiswa S1 dalam penelitian:

No	NIM	NAMA	TOPIK PENELITIAN
1.	A1C018052	Fika Nian Sanusi	Identifikasi Kemurnian Minyak Nilam Tercampur Minyak Kedelai Menggunakan Sensor Micro Electro Mechanical System (MEMS)
2.	A1C018064	Chairuzan Muhammad Naufal	Identifikasi Kemurnian Minyak Nilam yang Dicampur Minyak Kelapa Dengan Sensor NDIR (Non-Dispersif Infrared)
3.	A1C018004	Winlly Nurgawati	Identifikasi Kemurnian Minyak Nilam dengan Campuran Minyak Kedelai Menggunakan Deret Sensor Gas (MQ-Series Module)
4.	A1C018057	Wahyu Fitri Asmoro	Identifikasi Sensitivitas Sensor Micro Elctromechanical Systems (Mems) Dalam Mendeteksi Minyak Nilam Dengan Campuran Minyak Terpentin
5.	A1C018042	Nazilatul `Azizah	Sensitivitas Sensor NDIR (Non-Dispersive Infrared) Dalam Mendeteksi Tingkat Kemurnian Campuran Minyak Nilam Dengan Minyak Kelapa Sawit

BAB 5. HASIL YANG DICAPAI

5.1 Capaian kegiatan.

Secara garis besar, capaian hasil penelitian dari laporan kemajuan ini ditunjukkan dalam Tabel 5.1. Tabel 5.1. Capaian kegiatan penelitian.

No	Kegiatan	Target	Capaian
1.	Pengembangan hardware	Selesai	Selesai
2.	Pengembangan firmware/software	Selesai	Selesai
3.	Pengukuran dan pengujian	Selesai	75%
4.	Diseminasi pada seminar internasional	Dipresentasikan	Diterima dipresentasikan ^{a)} Dipresentasikan ^{b)}
5.	Publikasi di Prosiding Internasional	Accepted	Submitted ^{c)}
6.	Publikasi Jurnal internasional	<i>Published</i>	<i>Published</i> ^{d)}
7.	HKI (Paten Sederhana)	<i>Submitted</i>	<i>Draft</i>

^{a)} telah diterima untuk dipresentasikan di *International Conference Sustainable Approaches in Food Engineering and Technology (SAFETy) 2022, Department of Food Engineering and Technology, Tezpur University, Assam, India, 19-20 Oktober 2022.*

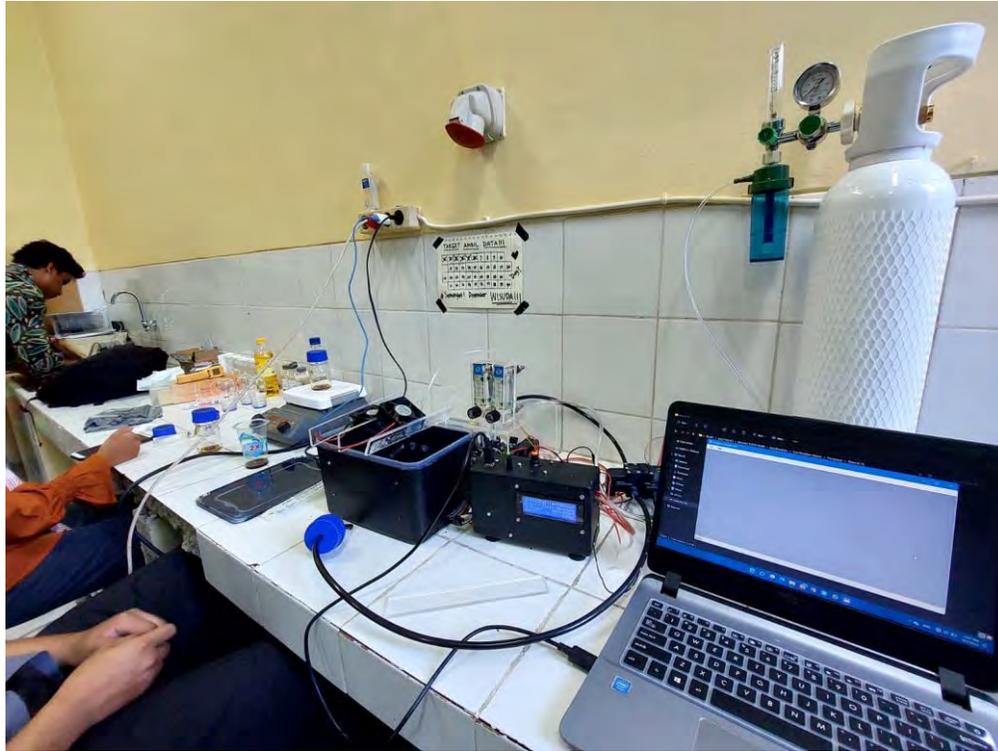
^{b)} telah dipresentasikan di *International Symposium on Food and Agro-biodiversity (ISFA) 2021, Department of Food Technology, Universitas Diponegoro, 14-15 September 2021.*

^{c)} telah disubmit pada prosiding AIPCP (terindeks Scopus) dari *International Symposium on Food and Agro-biodiversity (ISFA) 2021.*

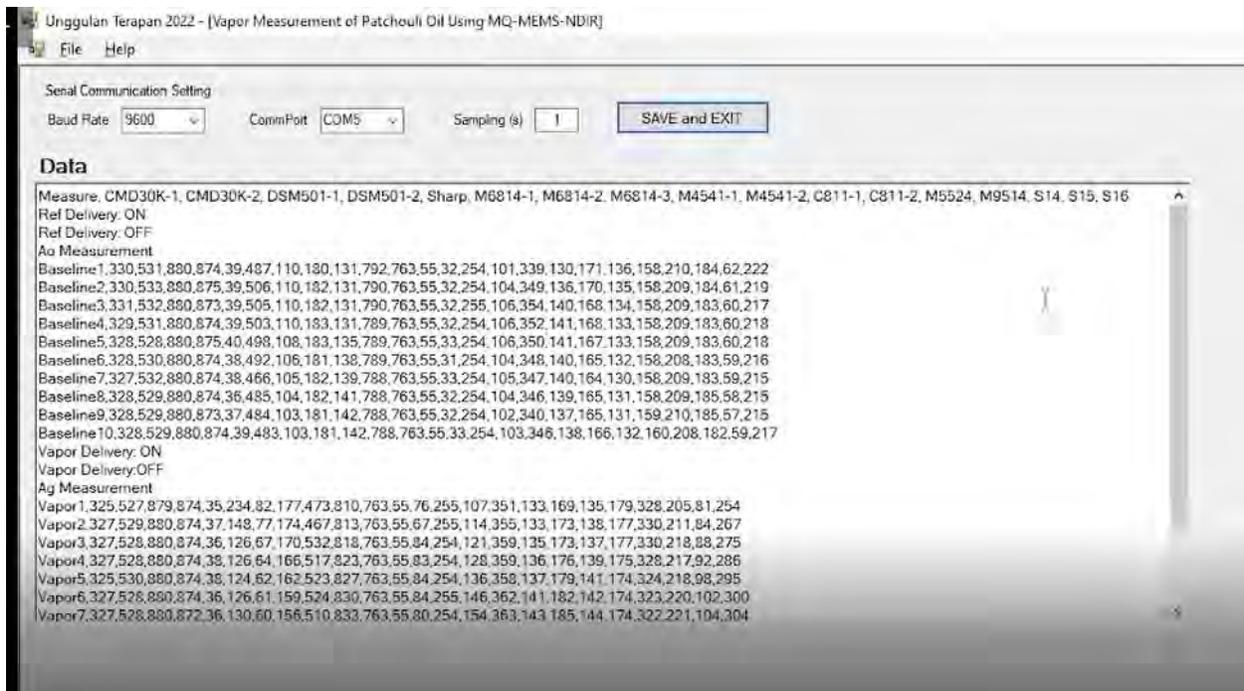
^{d)} telah terbit di Internasional Jurnal: *Food Research, Vol. 5 (Suppl. 2) : 84 - 90 (2021).*

5.2 Sistem Pengukuran Minyak Nilam dengan Sistem Transport Aroma Dinamis-Otomatis

Kegiatan penelitian menghasilkan alat/sistem pengukuran *vapor* minyak nilam menggunakan prinsip penciuman elektronik (*e-Nose*) yang memakai deret sensor gas dan volatil MOS, MEMS dan NDIR. Pengujian untuk menentukan sensor yang memiliki sensitivitas dan selektivitas tinggi dan memperoleh sensor yang optimum untuk membedakan pencampur minyak nilam. Gambar 5.1 dan 5.2 menunjukkan hasil sistem yang telah berhasil dibuat dan tampilan antarmuka untuk mengontrol kerja dan mengakuisisi semua luaran.



Gambar 5.1. Sistem pengukuran volatil Minyak Nilam.



Gambar 5.2. Tampilan antarmuka program untuk akuisisi luaran profil volatil Minyak Nilam.

5.3 Hasil Pengujian GC/MS Sampel Minyak Nilam murni dan Pencampur

Pengujian kemurnian dan kadar Minyak Nilam dilakukan dengan menggunakan metode Gas Chromatography / Mass Spectrometry di PT Indesso Aroma. Hasil Pengujian sampel Minyak Nilam disajikan dalam Tabel 5.2. dan Tabel 5.3.

Pengukuran menggunakan metode GC/MS untuk tiap sampel minyak nilai menunjukkan bahwa minyak nilam murni yang berasal dari dua UMKM tidak mengandung zat/minyak pencampur (adulterant), dengan kadar Patchouli Alcohol yang tinggi, yaitu 31.37%.

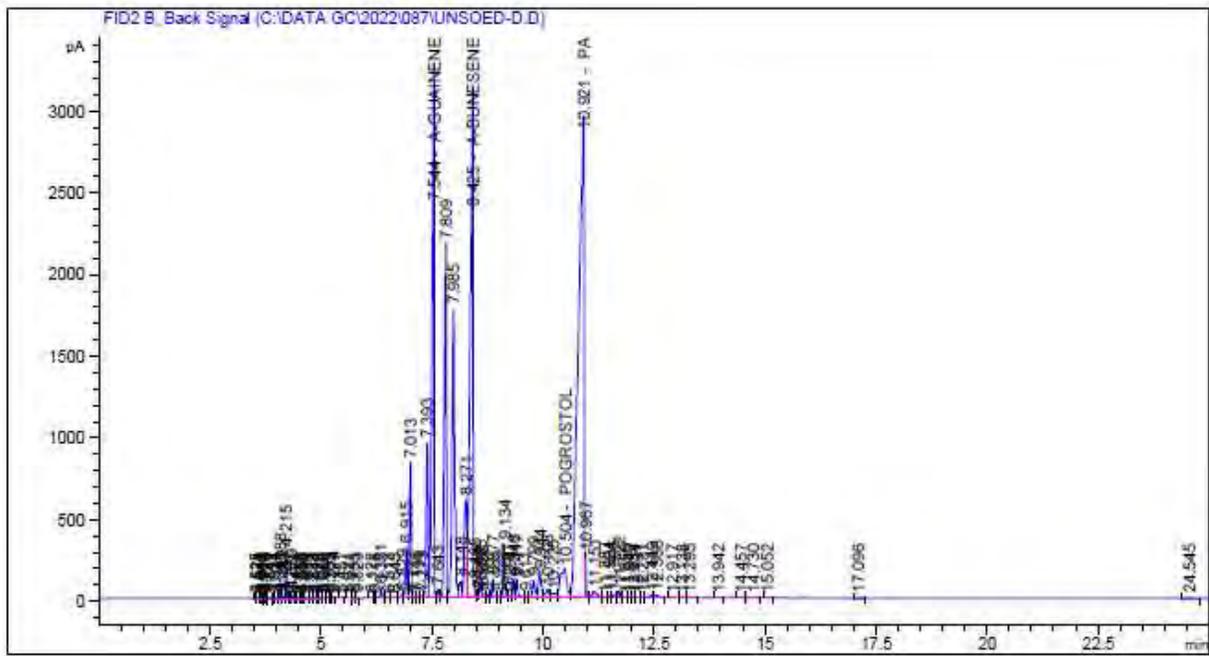
Tabel 5.2. Hasil Pengujian Kandungan Minyak Nilam dengan Metode GC/MS.

No. Batch	Patchouli Alcohol	Pogostol	Alpha Guaiene	Alpha Bulnesene	Acid Value	Specific Gravity (d 25/25)
UNSOED-A	31.52	2.28	12.45	14.39	12.06	0.9713
UNSOED-B	31.28	2.3	12.66	14.65	12.12	0.9708
UNSOED-C	30.14	2.08	12.72	14.46	11.93	0.9712
UNSOED-D	31.37	2.21	14	15.77	6.54	0.9625
UNSOED-E	28.17	1.86	15.1	15.7	4.63	0.9492
UNSOED-F	29.45	1.99	14.76	15.77	4.3	0.9464
UNSOED-G	21.41	1.41	12.32	12.32	4.92	0.9376
UNSOED-H	26.87	1.78	15.84	15.89	4.43	0.9463
UNSOED-I	27.14	1.82	15.75	15.68	4.9	0.9449
UNSOED-J	17.1	1.28	19.6	15.63	5.33	0.947

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Adulteran Minyak Nilam.

No. Batch	Color L (1 cm cell)	Color R (1 cm cell)	Color Y (1 cm cell)	Adulterant Fat	Adulterant DEP	Soluble in 10 parts vol. 90 % Alcohol
UNSOED-A	67.01	37.37	105.99	Positive	DEP : 25554 ppm	Soluble
UNSOED-B	69.17	36.65	108.12	Positive	DEP : 22955 ppm	Soluble
UNSOED-C	66.63	38.27	105.89	Positive	DEP : 29835 ppm	Soluble
UNSOED-D	91.15	10.73	96.44	Negative	DEP : 152 ppm	Soluble
UNSOED-E	86.14	15.6	96.22	Positive	DEP : 186 ppm	Not Standard
UNSOED-F	87.32	14.99	95.35	Positive	DEP : 242 ppm	Not Standard
UNSOED-G	89.41	12.59	93.78	Positive	DEP : 230 ppm	Soluble
UNSOED-H	88.07	14.61	95.3	Positive	DEP : 201 ppm	Not Standard
UNSOED-I	88.85	12.74	90.54	Positive	DEP : 224 ppm	Not Standard
UNSOED-J	56.24	41.53	92.19	Positive	DEP : 13249 ppm	Soluble

Pengukuran minyak nilam menggunakan metode GC-MS ditujukan untuk memperoleh nilai konsentrasi komponen utama masing-masing minyak atsiri yang diujikan, yaitu Patchouli pada minyak nilam. Contoh profil luaran hasil pengukuran dengan metode ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Luaran GC-MS untuk minyak nilam dengan kadar Patchouli 29,52%

5.4 Identifikasi Adulterasi Minyak Nilam dengan sensor MQ Series dengan berbagai metode Pengenalan ciri.

5.4.1. Identifikasi menggunakan sensor MQ Series berbasis metode neural network

Pengujian untuk membedakan Klasifikasi Minyak Nilam Murni, Minyak Nilam Tercampur, dan Minyak Kedelai Murni menggunakan *Artificial Neural Network Backpropagation*.

Input yang digunakan berupa nilai sensitivitas sensor dan nilai *atsiri measurement* (R_g) dengan jumlah masing-masing 180 data yang berasal dari pengukuran sampel minyak nilam murni, minyak nilam yang telah tercampur dengan minyak kedelai, dan minyak kedelai murni dengan jumlah ulangan sebanyak 10 kali. *Data input* akan dibagi menjadi 3 yaitu 70% data *training*, 15% data *testing*, dan 15% data *validation*. Sebelum proses pelatihan dan pengujian terhadap data dilakukan, maka penting untuk

menentukan nilai parameter yang bersifat tetap pada pelatihan sehingga dapat menghasilkan hasil yang optimal. Pada saat pengujian, parameter diatur untuk mendapatkan nilai MSE terkecil dengan tujuan agar menghasilkan nilai *output* yang dapat mendekati nilai target. Adapun target pada analisis ini dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Target dengan 3 *output*

<i>Output</i>	Target		
Minyak nilam murni	1	0	0
Minyak nilam tercampur	0	1	0
Minyak kedelai murni	0	0	1

Hasil pelatihan dengan *variasi input*, jumlah *hidden layer* dan jumlah *neuron hidden layer* yang berbeda pada setiap pelatihan dapat dilihat pada Tabel 5.5. Nilai akurasi tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 93.34% terdapat pada perlakuan pemanasan dengan arsitektur 10-30-3. Data *training*, *testing*, *validation*, dan keseluruhan yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 94.44%, 93.34%, 88.9% dan 93.42%.

Tabel 5.5. Nilai akurasi 10 *input* sensitivitas sensor dengan 1 *hidden layer*

Perlakuan	Jumlah <i>Neuron Hidden layer</i>	Nilai Akurasi (%)			
		<i>Training</i>	<i>Testing</i>	<i>Validation</i>	Keseluruhan
Tanpa Pemanasan	20	96.18	91.12	90.38	94.56
	30	96.18	91.12	93.34	95
	45	96.02	88.9	94.08	94.66
Pemanasan	20	100	92.6	94.08	97.88
	30	94.44	93.34	88.9	93.42
	45	91.44	83.72	91.12	90.22

Tabel 5.6. menunjukkan nilai *output* ANN pada data *training*, *testing*, dan *validation* dengan menggunakan 2 *hidden layer* dan *variasi neuron hidden layer* yang berbeda pada setiap perlakuan sampel minyak. Nilai akurasi tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 95.56% terdapat pada perlakuan pemanasan dengan arsitektur 10-20-30-3. Data *training*, *testing*, *validation* dan keseluruhan yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 98.26%, 95.56%, 91.12% dan 96.78%.

Tabel 5.6. Nilai akurasi 10 *input* sensitivitas sensor dengan 2 *hidden layer*

Perlakuan	Jumlah <i>Neuron</i>		Nilai Akurasi (%)			
	<i>Hidden layer</i>		<i>Training</i>	<i>Testing</i>	<i>Validation</i>	Keseluruhan
	nh1	nh2				
Tanpa Pemanasan	20	30	98.24	91.86	91.86	96.32
	30	45	94.74	88.9	88.16	92.86
	45	68	90.96	88.16	86.68	89.88
	20	30	98.26	95.56	91.12	96.78
Pemanasan	30	45	94.92	88.9	94.08	93.88
	45	68	96.34	85.94	91.12	94

Perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan pada sampel minyak mempengaruhi tingkat akurasi pada sensor gas MOS dalam mengidentifikasi volatil minyak nilam dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Pada analisis yang telah dilakukan, nilai akurasi tertinggi yang dihasilkan terdapat pada perlakuan pemanasan. Pemanasan pada sampel akan menghasilkan uap yang lebih banyak dibandingkan dengan tanpa pemanasan.

Hasil akurasi data *training* lebih tinggi daripada data *testing*. Hal ini dikarenakan data *training* memiliki struktur pola yang sama dengan data yang digunakan pada saat pelatihan jaringan. Sedangkan data *testing* merupakan data yang belum pernah melalui proses pelatihan sehingga menghasilkan nilai yang lebih kecil dari pada data *training* meskipun memiliki struktur pola yang hampir sama (Amalia, 2017). Variasi jumlah *hidden layer* dan *neuron hidden layer* yang dilakukan berpengaruh terhadap waktu proses pelatihan dan pengujian. Semakin banyak jumlah *hidden layer* dan *neuron hidden layer* yang digunakan, maka proses pelatihan dan pengujian akan semakin lama. Hal ini sejalan dengan Supriyanto, *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa kombinasi nilai parameter pelatihan yang tepat sangat dibutuhkan dalam menentukan waktu yang diperlukan pada saat proses pelatihan jaringan.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka *Artificial Neural Network* (ANN) *Backpropagation* dapat digunakan untuk mengklasifikasikan data dan menentukan nilai akurasi sensor gas dalam mengidentifikasi volatil minyak nilam. Menurut Shukla, *et al.* (2010) *Artificial Neural Network* dapat digunakan untuk beberapa permasalahan diantaranya adalah pengenalan pola, klasifikasi, *data mining*, dan prediksi.

Tampilan proses algoritma *backpropagation* dengan *input* sensitivitas sensor antara tanpa pemanasan dan dengan pemanasan ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



(a)

(b)

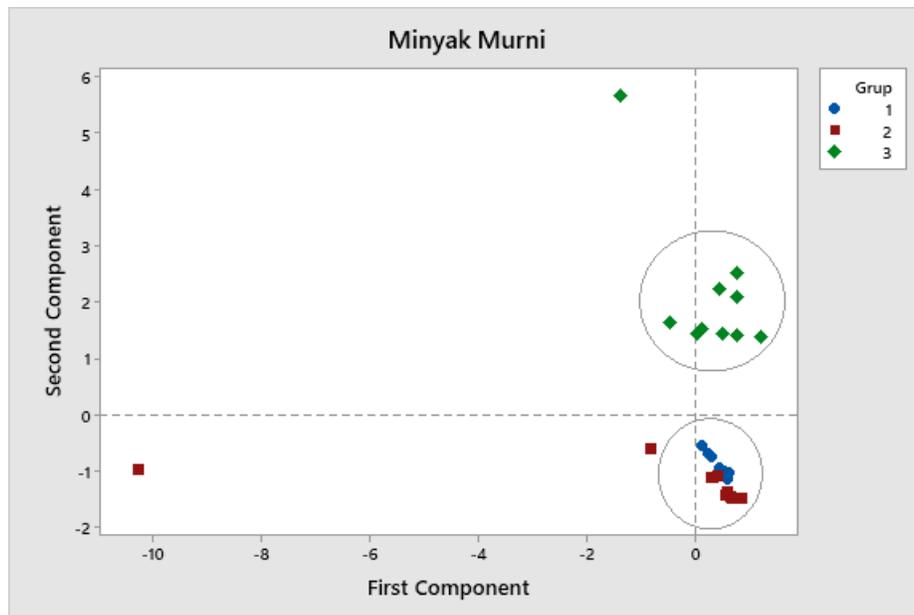
Gambar 5.4. Luaran Tampilan arsitektur 10-45-3 pada (a) perlakuan tanpa pemanasan dan (b) dengan pemanasan pada sampel minyak nilam.

5.5 Identifikasi Adulterasi Minyak Nilam dengan sensor MEMS dengan berbagai metode Pengenalan ciri.

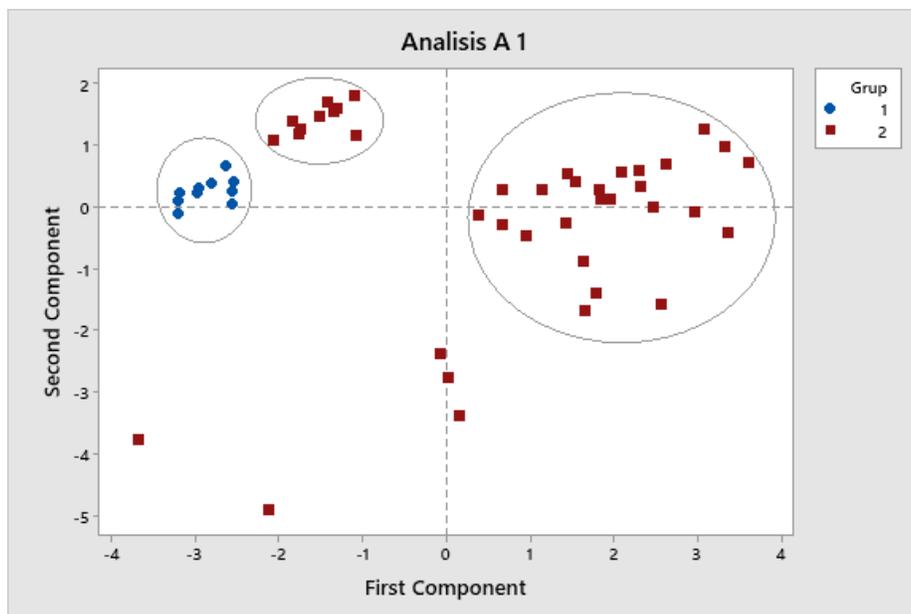
5.5.1. Identifikasi menggunakan sensor MEMS dengan metode PCA

Metode *Principal Component Analysis* merupakan transformasi linear untuk menentukan sistem koordinat yang baru dari sebuah *datasheet*. Metode PCA digunakan untuk mereduksi data yang besar menjadi lebih kecil, dimana data yang telah direduksi masih tetap dapat mewakili keseluruhan data. Data ini akan direduksi menjadi 2 garis besar yaitu komponen pertama (PC1) dan komponen kedua (PC2) yang mewakili presentase nilai dari keseluruhan total data. Nilai dari 2 komponen ini akan digunakan untuk membuat grafik visualisasi data secara 2 dimensi yang berguna untuk interpretasi informasi secara kualitatif.

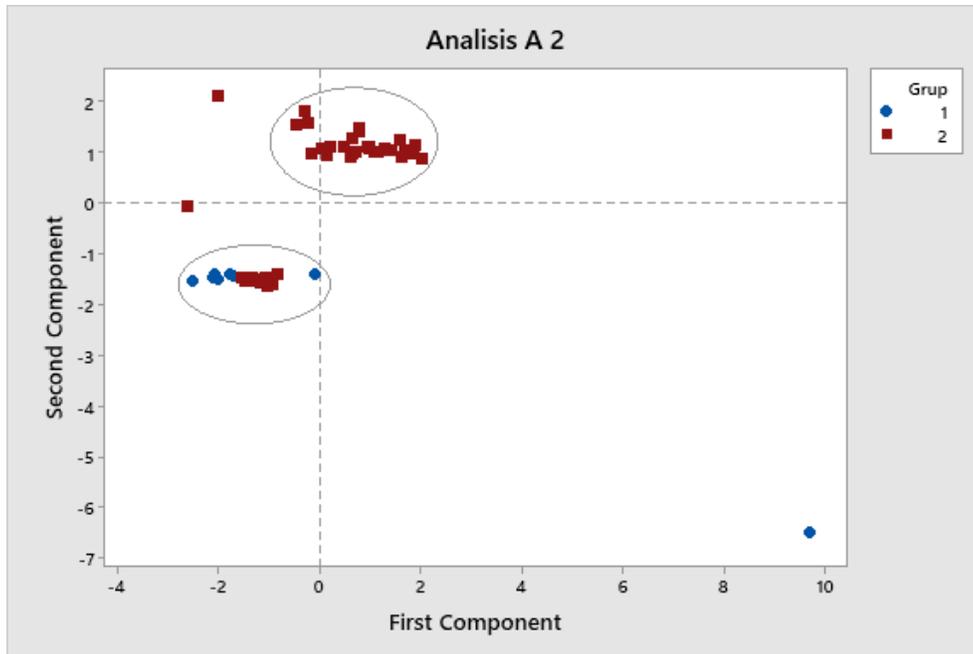
Hasil *score plot* 2 dimensi pengukuran sampel dari nilai sensitivitas dan *atsiri measurement* serta perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan dapat dilihat pada gambar berikut:



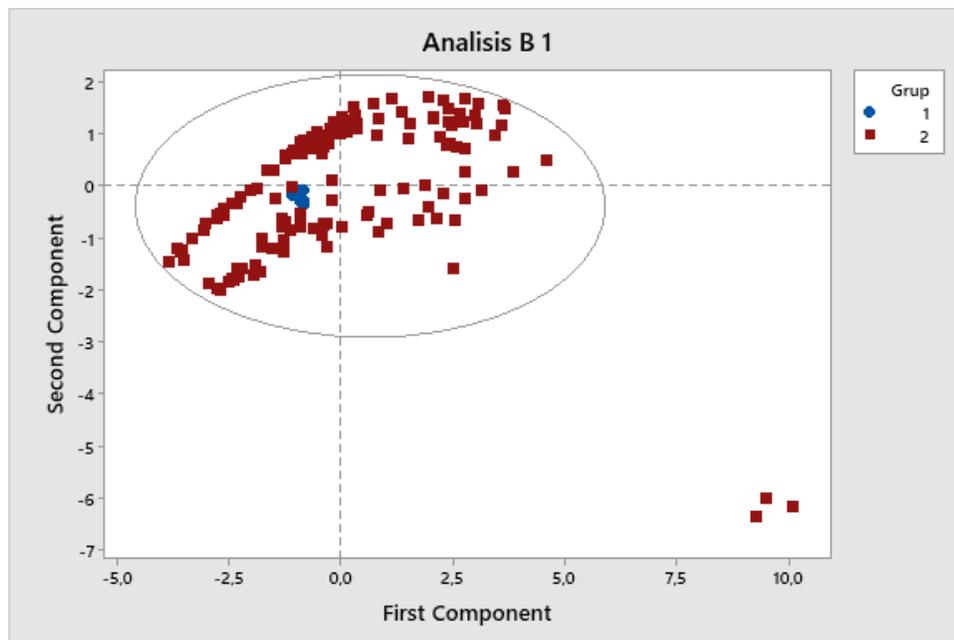
Gambar 5.5. Grafik *score plot* sensitivitas Analisis Minyak Murni pemanasan.



Gambar 5.6. Grafik *score plot* sensitivitas Analisis A 1 pemanasan.



Gambar 5.7. Grafik *score plot* sensitivitas Analisis A 2 pemanasan.



Gambar 5.8. Grafik *score plot* sensitivitas Analisis B 1 pemanasan.

Hasil menunjukkan persentase variansi PC1 dan PC2 untuk masing-masing nilai sensitivitas dengan perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan. Analisis minyak murni dengan pemanasan menunjukkan total variansi sebesar 87,1% dengan masing-masing persentase variansi PC1 sebesar 50,2%, dan PC2 sebesar 37,0%. Sedangkan untuk analisis minyak murni tanpa pemanasan menunjukkan total variansi sebesar 71,5% dengan masing-masing variansi PC1 sebesar 44,0% dan PC2 sebesar 27,5%. Data variansi lengkap dapat dilihat pada tabel berikut:

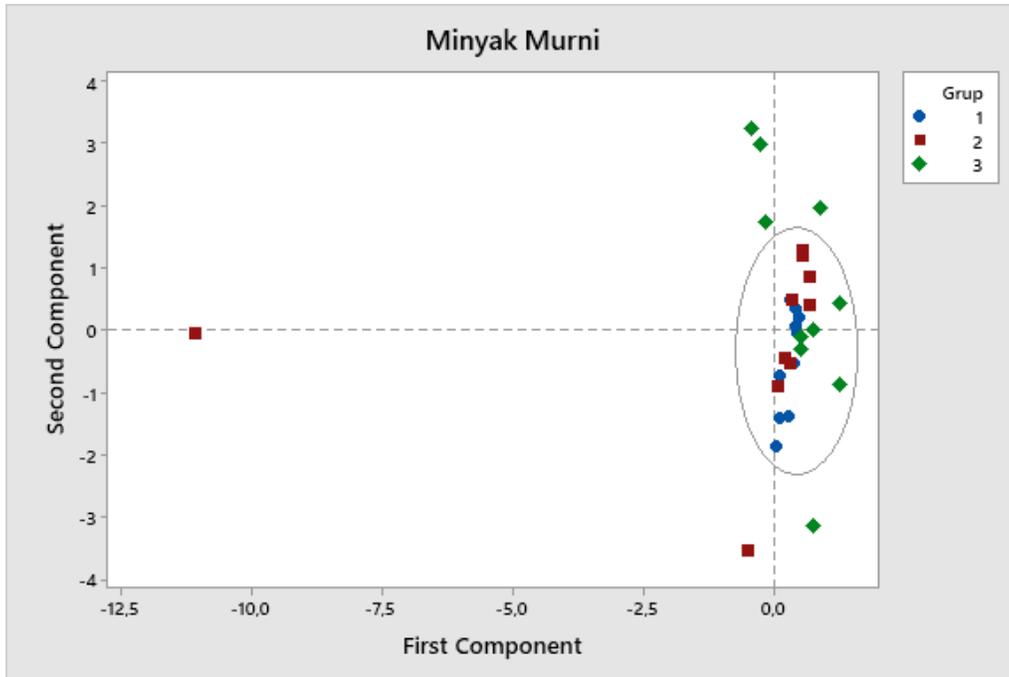
Tabel 5.7. Persentase variansi nilai sensitivitas Miyak Nilam pemanasan.

	Minyak Murni	Analisis A 1	Analisis A 2	Analisis B 2	Analisis B 2	Analisis C
PC1	50,2	62,0	47,8	66,9	58,9	42,9
PC2	37,0	25,3	32,5	21,9	19,9	22,5
Total	87,1	87,3	80,3	88,8	78,8	65,5

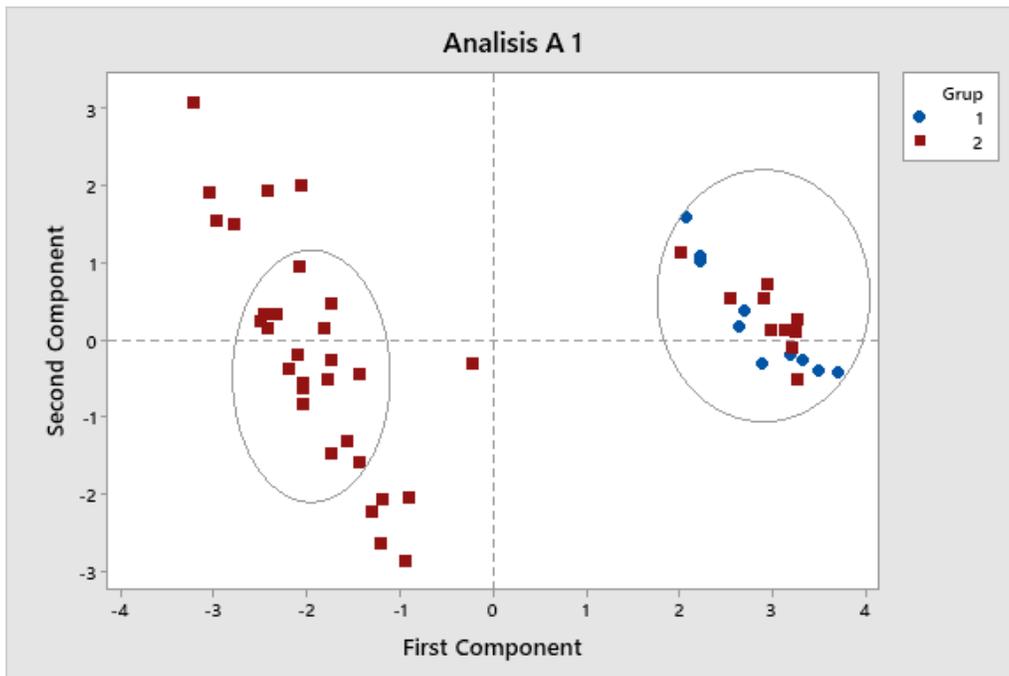
Tabel 5.8. Persentase variansi nilai sensitivitas Miyak Nilam tanpa pemanasan.

	Minyak Murni	Analisis A 1	Analisis A 2	Analisis B 2	Analisis B 2	Analisis C
PC1	44,0	88,5	91,1	65,6	66,7	76,7
PC2	27,5	6,3	5,7	21,3	21,7	13,1
Total	71,5	94,7	96,8	86,9	88,4	89,8

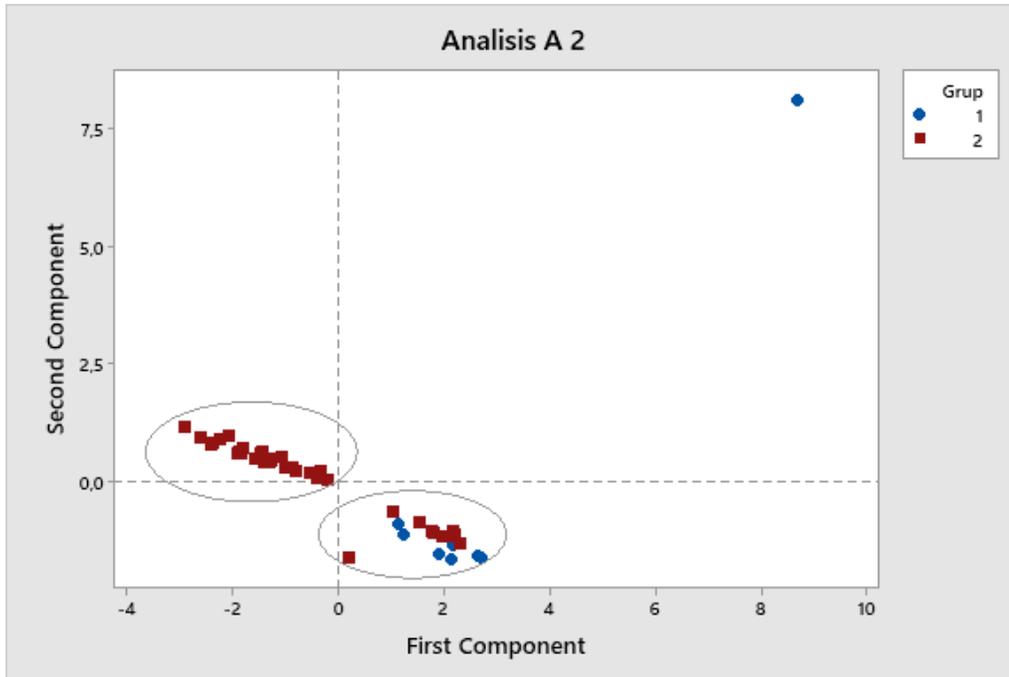
Tabel 5.7. dan Tabel 5.8 terlihat bahwa hasil dari analisis Minyak Murni yang menunjukkan bahwa Minyak Nilam murni UMKM 1 dan UMKM 2 terpisah dari Minyak Terpentin murni, hal ini menyimpulkan bahwa sensor gas MEMS dapat membedakan karakteristik aroma tiap sampel. Pada analisis A 1 sensor gas MEMS juga masih dapat membedakan Minyak Nilam murni UMKM 1 dengan minyak adulterasi dengan menunjukkan kumpulan titik yang terpisah. Namun pada analisis A 2 yang merupakan Minyak Nilam UMKM 2 dan minyak adulterasi tidak dapat membedakan karakteristik masing-masing minyak khususnya pada analisis A 2 pemanasan, dimana kumpulan titik Minyak Nilam UMKM 2 menyatu dengan minyak nilam online yang merupakan minyak adulterasi. Untuk analisis B 1 dan B 2 dengan perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan sensor MEMS juga tidak dapat mengelompokkan Minyak Nilam murni dengan Minyak Nilam tercampur Minyak Terpentin (1%, 5%, 10%, 15% dan 20%), tetapi Minyak Nilam murni masih bisa dilihat berkelompok. Pada analisis C sensor gas MEMS juga tidak dapat mengelompokkan Minyak Nilam murni dengan minyak lainnya.



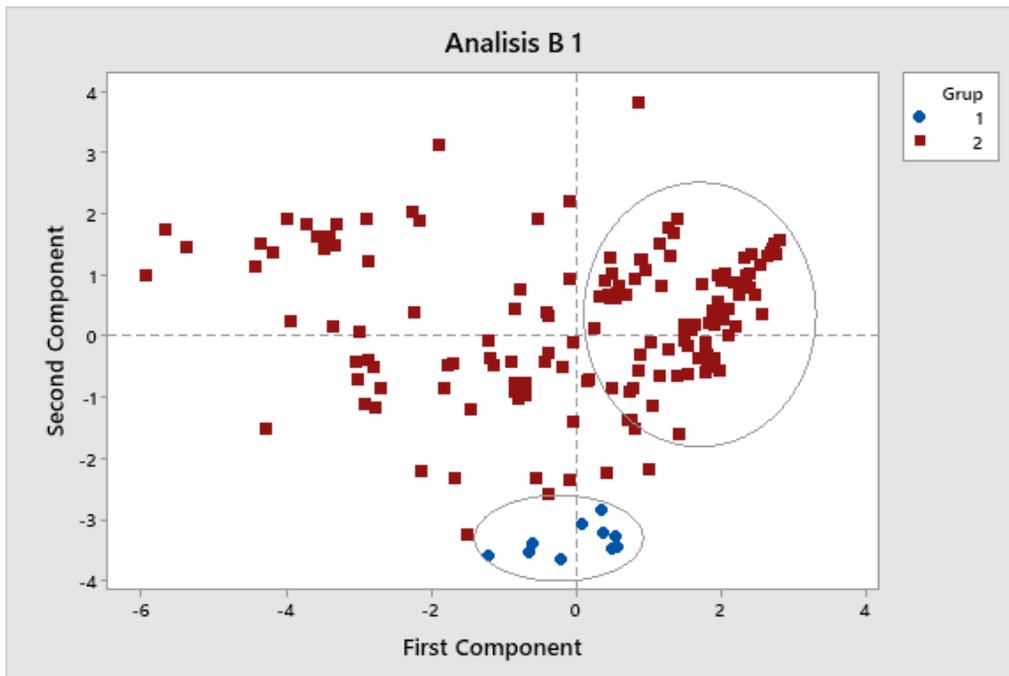
Gambar 5.9. Grafik *score plot* Ag Analisis Minyak Murni pemanasan.



Gambar 5.10. Grafik *score plot* Ag Analisis A 1 pemanasan.



Gambar 5.11. Grafik *score plot* Ag Analisis A 2 pemanasan.



Gambar 5.12. Grafik *score plot* Ag Analisis B 1 pemanasan.

Pada Gambar 5.9 sampai 5.12 menunjukkan persentase variansi PC1 dan PC2 untuk masing-masing nilai sensitivitas dengan perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan. Analisis minyak murni dengan pemanasan menunjukkan total variansi sebesar 84,6%% dengan masing-masing

persentase variansi PC1 sebesar 57,0%, dan PC2 sebesar 27,6%. Sedangkan untuk analisis minyak murni tanpa pemanasan menunjukkan total variansi sebesar 86,9% dengan masing-masing variansi PC1 sebesar 53,7% dan PC2 sebesar 33,2%. Data variansi lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.9. dan Tabel 5.10:

Tabel 5.9. Persentase variansi nilai Ag Miyak Nilam pemanasan.

	Minyak Murni	Analisis A 1	Analisis A 2	Analisis B 2	Analisis B 2	Analisis C
PC1	57,0	75,9	56,2	52,5	51,1	45,3
PC2	27,6	18,6	27,1	12,4	29,2	26,9
Total	84,6	94,5	83,4	90,8	80,3	72,2

Tabel 5.10. Persentase variansi nilai sensitivitas Miyak Nilam tanpa pemanasan.

	Minyak Murni	Analisis A 1	Analisis A 2	Analisis B 2	Analisis B 2	Analisis C
PC1	53,7	71,7	78,9	48,4	48,2	60,5
PC2	33,2	18,6	17,3	25,6	23,6	24,0
Total	86,9	94,0	96,2	74,0	71,8	84,5

Pada analisis Minyak Murni menunjukkan hasil yang baik pada perlakuan tanpa pemanasan karena sensor MEMS dapat mengelompokkan jenis minyak Nilam dan terpentin secara terpisah, sedangkan untuk perlakuan pemanasan sensor MEMS tidak dapat membedakan karakteristik antara minyak nilam dan minyak terpentin. Begitupula dengan analisis lainnya (analisis A 1, A 2, B 1, B 2 dan C) dimana sensor gas MEMS juga mengalami hal yang sama dimana pada perlakuan tanpa pemanasan sensor dapat mengelompokkan antara minyak Nilam murni dengan minyak lainnya, sedangkan perlakuan pemanasan sensor tidak dapat mengelompokkan antara minyak nilam murni dengan lainnya. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai Ag dengan perlakuan tanpa pemanasan lebih baik dibandingkan dengan nilai lainnya.

5.5.2. Identifikasi menggunakan sensor MEMS dengan metode LDA

Analisis diskriminan merupakan analisis yang bertujuan mengelompokkan objek ke dalam kelompok yang saling lepas dan menyeluruh menurut beberapa variabel bebas dan mengklasifikasikan objek baru ke dalam kelompok yang saling bebas tersebut. Metode diskriminan ini digunakan untuk mengetahui kelompok minyak nilam murni dan minyak nilam tercampur minyak terpentin. Adapun kelas minyak awal dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Keterangan jenis minyak.

Kelas	Keterangan
1	Minyak Nilam Murni (UMKM 1 & UMKM 2)
2	Minyak Terpentin Murni
3	Minyak Tercampur (Nilam Adulterasi, Nilam tercampur Terpentin)

Tabel 5.12. Perbandingan hasil akurasi tiap perlakuan.

Perlakuan	Jenis Minyak	Sensitivitas	<i>Atsiri Measurement (Ag)</i>
Pemanasan	Minyak Nilam Murni	95%	100%
	Minyak Terpentin	100%	100%
	Minyak Tercampur	96,3%	91,6%
Rata-rata		96,4%	92,7%
Tanpa pemanasan	Minyak Nilam Murni	100%	100%
	Minyak Terpentin	100%	90%
	Minyak Tercampur	92,1%	83,7%
Rata-rata		93,2%	85,5%

Berdasarkan Tabel 5.12 menunjukkan bahwa klasifikasi minyak nilam dengan nilai sensitivitas memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai Ag. Nilai tertinggi pada nilai sensitivitas perlakuan pemanasan yaitu 96,4%. Perlakuan pemanasan memiliki nilai yang lebih tinggi pula dibandingkan dengan nilai perlakuan tanpa pemanasan dimana nilai sensitivitas dan Ag perlakuan pemanasan menghasilkan nilai 96,4% dan 92,7% dibandingkan dengan nilai perlakuan tanpa pemanasan dengan nilai 93,2% dan 85,5%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor gas MEMS dapat membedakan minyak nilam murni dengan minyak nilam tercampur dengan nilai akurasi yang tinggi.

5.6 Identifikasi Adulterasi Minyak Nilam dengan sensor NDIR dengan berbagai metode Pengenalan ciri.

Analisis diskriminan adalah analisis yang sebuah analisis yang bertujuan untuk mengelompokkan suatu objek ke dalam kelompok yang saling lepas dan menyeluruh menurut beberapa variable bebas dan mengklafikasikan objek baru ke dalam kelompok yang saling bebas tersebut. Metode diskriminan analisis ini digunakan untuk mengetahui variable yang dapat memisahkan suatu kelompok dengan kelompok lain dalam suatu populasi. Berikut adalah analisis diskriminan

Tabel 5.13. Tabel Klasifikasi Minyak Nilam

Kelas	Keterangan
1	Minyak Nilam Murni
2	Minyak Terpentin Murni Minyak Nilam Online Minyak Nilam A, B, C Minyak Nilam Tercampur 1%, 5%, 10%, 15%, dan 20%

Tabel 5.14. Tabel klasifikasi berdasarkan analisis

Nama	Keterangan
Analisis A	Minyak nilam umkm 1 ; Minyak nilam umkm 2 Minyak terpentin murni
Analisis A 1	Minyak nilam umkm 1 ; Minyak nilam online Minyak nilam a, b , c
Analisis A 2	Minyak nilam umkm 2 ; Minyak nilam online Minyak nilam a, b, c
Analisis B 1	Minyak nilam umkm 1 ; Minyak nilam tercampur 1%, 5%, 10%,15%, dan 20%
Analisis B 2	Minyak nilam umkm 2 Minyak nilam tercampur 1%, 5%, 10%,15% dan
Analisis C	Minyak Nilam umkm 1 Minyak nilam umkm 2 Minyak terpentin murni Minyak nilam online Minyak nilam a, b, c Minyak Nilam tercampur 1%, 5%, 10%, 15%, dan 20%

Tabel 5.15 menunjukkan bahwa perbandingan hasil akurasi yang dihasilkan dari sensitifitas dan ag memiliki nilai akurasi yang berbeda beda. Nilai atsiri measurement (Ag) merupakan nilai yang diperoleh pada saat sensor mendeteksi aroma minyak, sedangkan nilai sensitifitas adalah hasil dari nilai perbandingan nilai baseline measurement (Ao) dan atsiri measurement (Ag). Pada perlakuan tanpa pemanasan analisis a yang merupakan minyak nilam murni dan minyak terpentin murni pada sensitifitas maupun nilai ag mempunyai nilai tertinggi diantara yang lain dengan nilai 93,3%. Sedangkan perlakuan dengan

pemanasan analisis a dengan pengukuran sensitifitas maupun dengan ag yang mempunyai nilai tertinggi dengan 90% untuk sensitifitas dan 96,7% untuk ag.

Dengan hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor gas Ndir mampu membedakan nilai minyak nilam murni dan minyak nilam yang tercampur dengan nilai akurasi yang tinggi, namun terlihat perbandingan nilai sensitifitas dan nilai atsiri measurement (Ag), terlihat bahwa nilai atsiri measurement (Ag) memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan sensitifitas (S).

Tabel 5.15. Perbandingan nilai akurasi sensitifitas dan atsiri measurement (Ag) Perlakuan

Perlakuan	Analisis	Sensitifitas	Ag
Tanpa Pemanasan	Analisis A	93,3%	93,3%
	Analisis A 1	70,0%	96,0%
	Analisis A 2	66,0%	80,0%
	Analisis B 1	62,5%	74,4%
	Analisis B 2	66,9%	56,3%
	Analisis C	56,4%	65,5%
Pemanasan	Analisis A	90%	96,70%
	Analisis A 1	58%	84%
	Analisis A 2	82%	88%
	Analisis B 1	56,30%	63,70%
	Analisis B 2	86,90%	88,10%
	Analisis C	74,10%	77,70%

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pengukuran Minyak Nilam berbasis sistem penciuman elektronik (e-Nose) yang menggunakan beragam deret sensor jenis MQ-series, MEMS, dan NDIR telah dibangun dengan sistem akuisisi dan sistem transport gas dinamis menggunakan modul mikrokontroler yang mengakuisisi semua data luaran sensor ke dalam sebuah perangkat komputer.
2. Pengujian sensor tipe MQ-Series (MOS MQ2-1, MQ2-2, MQ4, MQ5, MQ6, MQ8 dan MQ135) menunjukkan bahwa dengan metode Neural Network klasifikasi minyak nilam murni dan minyak kedelai murni menghasilkan akurasi terbaik sebesar 95,56% pada perlakuan pemanasan dengan arsitektur 10-20-30-3. Pada analisis klasifikasi minyak nilam murni dan minyak nilam tercampur menghasilkan akurasi terbaik 70,76% pada perlakuan pemanasan dengan arsitektur 10-48-6.
3. Pengujian sensor tipe MEMS (MICS-5914, CJMCU-811 CCS811, MICS-6814, MICS-4514) menunjukan akurasi terbaik didapatkan pada perlakuan pemanas dibandingkan tanpa pemanas. Sensor M6814-1, M6814-3 dan M5524 memiliki tingkat respon yang tinggi serta stabil baik dalam perlakuan pemanasan atau tanpa pemanasan pada nilai sensitivitas dan atsiri measurement (Ag). Analisis data menggunakan metode PCA menghasilkan variansi tertinggi pada analisis nilai perlakuan tanpa pemanasan dengan variansi tertinggi nilai sensitivitas sebesar 96,8% dan nilai Ag sebesar 96,2%.
4. Pengujian sensor tipe NDIR (CMD30K-1, CMD30K-2, DSM501-1, DSM501-2 dan Sharp) menunjukkan bahwa dengan menggunakan PCA untuk membedakan minyak nilam murni, minyak terpentin murni, minyak nilam online, minyak nilam a, b, c dan minyak nilam tercampur dengan minyak terpentin memiliki variansi paling tinggi total variansinya 83,6%.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, masih terdapat beberapa kekurangan dalam mengidentifikasi minyak nilam, Sebagai pertimbangan selanjutnya penulis memiliki beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang klasifikasi minyak nilam dengan menggunakan metode klasifikasi lain.
2. Perlu adanya pengembangan lebih lanjut pada penelitian ini supaya alat pendeteksi mutu minyak atsiri mampu diterima oleh pelaku usaha minyak atsiri dengan harga yang mampu diterima usaha kecil sekalipun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Rusli, "Potensi Minyak Atsiri Indonesia," 2015. http://kms.ipb.ac.id/4385/1/09-02-2015__Potensi_Minyak_Atsiri_Indonesia.pdf (accessed Dec. 06, 2016).
- [2] A. Hapsari, "Indonesia Pensuplai Utama Tiga Komoditi Minyak Atsiri," *Suara Merdeka News*, Yogyakarta, Apr. 2018.
- [3] E. Schmidt, "Production of Essential Oils," in *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*, K. H. C. Bas, er and G. Buchbauer, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016, p. 1116.
- [4] T. I. Tribowo, "Harga Minyak Nilam Tembus Rp 600.000/Kg," *Suara Merdeka News*, Bumiayu, Mar. 2019.
- [5] Dinperindagkop, "Renstra 2013-2018 Dinperindagkop Banyumas," 2013. http://static.banyumaskab.go.id/website/documents/dinperindagkop/RENSTRA_2013-2018_DINPERINDAGKOP.pdf (accessed Nov. 25, 2016).
- [6] BSN, "Standar Nasional Indonesia 06-2385-2006: Minyak Nilam," Jakarta, Indonesia, 2006.
- [7] Ma'mun, "Identifikasi Pemalsuan Minyak Nilam di Rantai Tataniaga," *Bul. Penelit. Tanam. Rempah dan Obat*, vol. 4, no. 2, pp. 17–22, 2003.
- [8] S. Kim, H. Kim, I. C. Lee, K. Cheong, and M. Lim, "The Quantitative Analysis of Aroma Gas with Gas Sensors," vol. 11, no. 6, pp. 1163–1169, 2013.
- [9] A. Gorji-chakespari, A. M. Nikbakht, F. Sefidkon, M. Ghasemi-varnamkhasti, and E. L. Valero, "Classification of essential oil composition in *Rosa damascena* Mill. genotypes using an electronic nose," *J. Dermatol. Sci.*, 2016, doi: 10.1016/j.jarmap.2016.07.004.
- [10] S. S. Schiffman and T. C. Pearce, "Introduction to Olfaction: Perception, Anatomy, Physiology, and Molecular Biology," in *Handbook of Machine Olfaction*, T. C. Pearce, S. S. Schiffman, H. T. Nagle, and J. W. Gardner, Eds. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, 2003, pp. 133–160.
- [11] X. Huang, F. Meng, Z. Pi, W. Xu, and J. Liu, "Gas sensing behavior of a single tin dioxide sensor under dynamic temperature modulation," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 99, no. 2–3, pp. 444–450, 2004, doi: 10.1016/j.snb.2003.12.013.
- [12] J. Liu, X. Huang, and F. Meng, "The Dynamic Measurements of SnO₂ Gas sensors and their Applications," in *Science and Technology of Chemiresistor Gas Sensors*, D. K. Aswal and S. K. Gupta, Eds. New York, NY, USA: Nova Science Publishers, 2007, pp. 177–214.
- [13] A. Ortega, S. Marco, A. Perera, T. Šundić, A. Pardo, and J. Samitier, "An intelligent detector based on temperature modulation of a gas sensor with a digital signal processor," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 78, no. 1–3, pp. 32–39, 2001, doi: 10.1016/S0925-4005(01)00788-2.
- [14] Y. Sun, X. Huang, F. Meng, and J. Liu, "Study of Influencing Factors of Dynamic Measurements Based on SnO₂ Gas Sensor," *Sensors*, vol. 4, pp. 95–104, 2004, doi: 10.3390/s40670095.

- [15] A. P. Lee and B. J. Reedy, "Temperature modulation in semiconductor gas sensing," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 60, no. 1, pp. 35–42, 1999, doi: 10.1016/S0925-4005(99)00241-5.
- [16] A. Sudarmaji and A. Kitagawa, "Sensors & Transducers Temperature Modulation with Specified Detection Point on Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors for E-Nose Application," *Sensors & Transducers*, vol. 186, no. 3, pp. 93–103, 2015.
- [17] A. Sudarmaji, A. Margiwiyatno, R. Ediati, and A. Mustofa, "Vapor Measurement System of Essential Oil Based on MOS Gas Sensors Driven with Advanced Temperature Modulation Technique," *IOP Conf Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 147, p. 10, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/147/1/012046.
- [18] A. Margiwiyatno and A. Sudarmaji, "Identification of Eugenol in Clove Oil Based on Array Mos Gas Sensor using Principle Component Analysis and Support Vector Machine Methods," *Int. J. Psychosoc. Rehabil.*, no. Conference Special Issue, pp. 329–338, 2020.
- [19] A. Sudarmaji, A. Margiwiyatno, S. B. Sulistyono, and Saparso, "Deteksi Kemurnian dan Adulterasi Minyak Nilam Berbasis Sistem Penciuman Elektronik (e-Nose)," Laporan Akhir Penelitian Unggulan Terapan BLU Unsoed, Purwokerto, Indonesia, 2020.
- [20] T.-V. Dinh, I.-Y. Choi, Y.-S. Son, and J.-C. Kim, "A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 231, pp. 529–538, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.040>.
- [21] J. Lawless, *The Encyclopedia of Essential Oils*. San Francisco, CA: Conari Press, 2013.
- [22] C. Sell, "Chemistry of Essential Oils," in *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*, K. H. C. Bas,er and G. Buchbauer, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group, 2016, p. 2116.
- [23] W. Jäger and M. Höferl, "Metabolism of Terpenoids in Animal Models and Humans," in *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*, K. H. C. Bas,er and G. Buchbauer, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016, p. 1116.
- [24] E. Riyadi, "Profil Senyawa Volatil pada Berbagai Jenis Minyak Atsiri asal Indonesia," Institut Pertanian Bogor, 2012.
- [25] E. Schmidt and J. Wanner, "Adulteration of Essential Oils," in *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*, K. H. C. Bas,er and G. Buchbauer, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group, 2016, p. 1116.
- [26] S. Mestri, "Adulteration of Essential Oils And Detection Techniques," 2016. .
- [27] I. S. Hardyanti, D. Septyaningsih, I. Nurani, and A. P. Wibowo, "Analisis Kadar Patchouli Alcohol menggunakan Gas Chromatography pada Pemurnian Minyak Nilam menggunakan Adsorben Zeolit," in *Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, 2016.
- [28] N. Barsan, D. Koziej, and U. Weimar, "Metal oxide-based gas sensor research: How to?," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 121, no. 1, pp. 18–35, 2007, doi: 10.1016/j.snb.2006.09.047.
- [29] C. Wang, L. Yin, L. Zhang, D. Xiang, and R. Gao, "Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity

- and Influencing Factors,” *Sensors*, vol. 10, no. 3, pp. 2088–2106, 2010, doi: 10.3390/s100302088.
- [30] H. Nanto and J. R. Stetter, “Introduction to Chemosensors,” in *Handbook of Machine Olfaction*, T. C. Pearce, S. S. Schiffman, H. T. Nagle, and J. W. Gardner, Eds. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003, pp. 79–104.
- [31] D. Puzzovio, “Surface interaction mechanisms in metal-oxide semiconductors for alkane detection,” Università degli Studi di Ferrara, 2008.
- [32] S. Nakata, T. Hashimoto, and H. Okunishi, “Evaluation of the responses of a semiconductor gas sensor to gaseous mixtures under the application of temperature modulation,” *Analyst*, vol. 127, no. 12, pp. 1642–8, 2002, doi: 10.1039/b208295k.
- [33] S. Nakata, H. Okunishi, and Y. Nakashima, “Distinction of gases with a semiconductor sensor under a cyclic temperature modulation with second-harmonic heating,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 119, no. 2, pp. 556–561, 2006, doi: 10.1016/j.snb.2006.01.009.
- [34] N. Yamazoe, G. Sakai, and K. Shimanoe, “Oxide semiconductor gas sensors,” *Catal. Surv. from Asia*, vol. 7, no. 1, pp. 63–75, 2003, doi: 10.1023/A:1023436725457.
- [35] F. Quaranta *et al.*, “Novel gas sensor based on SnO₂ / Os thin film for the detection of methane at low temperature A novel gas sensor based on SnO₂ / Os thin film for the detection of methane at low temperature,” *Sensors Actuators B*, vol. 58, no. May 2016, pp. 350–355, 1999, doi: 10.1016/S0925-4005(99)00095-7.
- [36] S. Basu and P. K. Basu, “Nanocrystalline Metal Oxides for Methane Sensors : Role of Noble Metals,” vol. 2009, 2009, doi: 10.1155/2009/861968.
- [37] S. Kiani, S. Minaei, and M. Ghasemi-Varnamkhashti, “Application of electronic nose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: A review,” *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, Mar. 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.12.002>.
- [38] S. Cui, J. Wang, L. Yang, J. Wu, and X. Wang, “Qualitative and quantitative analysis on aroma characteristics of ginseng at different ages using E-nose and GC–MS combined with chemometrics,” *J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 102, pp. 64–77, 2015.
- [39] S. Mildner-Szkudlarz and H. H. Jeleń, “The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil,” *Food Chem.*, vol. 110, no. 3, pp. 751–761, 2008.
- [40] A. M. Marina, Y. B. C. Man, and I. Amin, “Use of the SAW Sensor Electronic Nose for Detecting the Adulteration of Virgin Coconut Oil with RBD Palm Kernel Olein,” *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 87, no. 3, pp. 263–270, 2010.
- [41] A. Sudarmaji and R. Ediati, “Identifikasi Kematangan Buah Tropika Berbasis Sistem Penciuman Elektronik,” in *Seminar Nasional Perhimpunan Teknik Pertanian*, 2010.
- [42] A. Sudarmaji and A. Kitagawa, “Application of Temperature Modulation-SDP on MOS Gas Sensors: Capturing Soil Gaseous Profile for Discrimination of Soil under Different Nutrient Addition,” *J. Sensors*, vol. 2016, pp. 1–11, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1035902>.