

***PROTOTYPE* ALAT UJI DETEKSI CEPAT BUAH KELAPA PANDAN
WANGI BERBASIS *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* MENGGUNAKAN
METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) DAN LOGIKA FUZZY**

(Tesis)

Oleh

**LARASATI HANDAYANI
227041002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PROTOTYPE ALAT UJI DETEKSI CEPAT BUAH KELAPA PANDAN WANGI BERBASIS *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) DAN LOGIKA FUZZY

Oleh

Larasati Handayani

Perusahaan teknologi terus mengembangkan alat deteksi yang semakin canggih, salah satunya adalah teknologi sensor penciuman buatan atau *electronic nose (e-nose)*. *E-nose* dirancang untuk meniru sistem penciuman manusia, memungkinkan pengukuran, identifikasi, dan klasifikasi campuran gas. Penelitian ini merancang sistem *e-nose portable* menggunakan sensor gas TGS-2602 dan TGS-2600 untuk mengenali kelapa pandan wangi. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem *e-nose portable* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* dan logika fuzzy dengan metode Mamdani untuk mengenali kelapa pandan wangi. Sistem *e-nose* ini dilatih dengan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan metode *backpropagation* dan logika fuzzy dengan metode Mamdani untuk menganalisis dan mengklasifikasikan bau dari kelapa pandan wangi. Data yang diperoleh dalam proses pembelajaran diolah menggunakan *Principle Component Analysis (PCA)* untuk menganalisis pola yang terbentuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi sistem *e-nose portable* dapat membedakan kelapa pandan wangi dan kelapa non pandan wangi. Analisis menggunakan JST menghasilkan error pelatihan sebesar 0,97% pada *neuron hidden layer 11*, logika fuzzy dengan metode Mamdani menghasilkan akurasi sebesar 99,98%, dan PCA menunjukkan persentase variasi tertinggi sebesar 88,91%.

Kata kunci : *Backpropagation*, *e-nose*, jaringan syaraf tiruan, kelapa pandan wangi, logika fuzzy

ABSTRACT

PROTOTYPE OF RAPID DETECTION TEST TOOL FOR PANDAN WANGI COCONUT FRUIT BASED ON ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD (ANN) AND FUZZY LOGIC

By

Larasati Handayani

Technology companies continue to develop increasingly sophisticated detection tools, one of which is artificial smell sensor technology or electronic nose (e-nose). The E-nose is designed to mimic the human olfactory system, enabling the measurement, identification, and classification of gas mixtures. This research designs a portable e-nose system using TGS-2602 and TGS-2600 gas sensors to recognize fragrant pandanus coconut. The purpose of this research is to design a portable e-nose system using JST with the backpropagation method and fuzzy logic with the Mamdani method to recognize fragrant pandanus coconut. This e-nose system is trained using an Artificial Neural Network (JST) with a backpropagation method and fuzzy logic with the Mamdani method to analyze and classify the smell of fragrant pandanus coconut. The data obtained in the learning process is processed using Principal Component Analysis (PCA) to analyze the patterns formed. The results showed that the implementation of the portable e-nose system can distinguish fragrant pandanus coconut. Analysis using JST produces a training error of 0.97% on hidden layer neuron 11, fuzzy logic with the Mamdani method produces an accuracy of 99.98%, and PCA shows the highest percentage of variation of 88.91%.

keyword: Backpropagation, e-nose, artificial neural network, fragrant pandanus coconut, fuzzy logic

PROTOTYPE ALAT UJI DETEKSI CEPAT BUAH KELAPA PANDAN WANGI BERBASIS ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) DAN LOGIKA FUZZY

Oleh

LARASATI HANDAYANI

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar

MAGISTER SAINS

Pada

Program Studi Magister Fisika

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Penelitian : **PROTOTYPE ALAT UJI DETEKSI CEPAT
BUAH KELAPA PANDAN WANGI BERBASIS
ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)
MENGUNAKAN METODE JARINGAN
SYARAF TIRUAN((JST) DAN LOGIKA FUZZY**

Nama Mahasiswa : **Larasati Handayani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2227041002

Program Studi : Magister Fisika

KBK : Instrumentasi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001

Dr. Yanti Yulianti S.Si., M.Si.
NIP. 197512192000122003

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika

Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

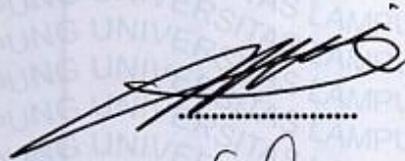
Ketua Program Studi
Magister Fisika,

Dr. Yanti Yulianti S.Si., M.Si.
NIP. 197512192000122003

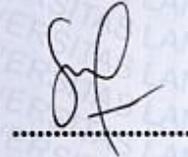
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**

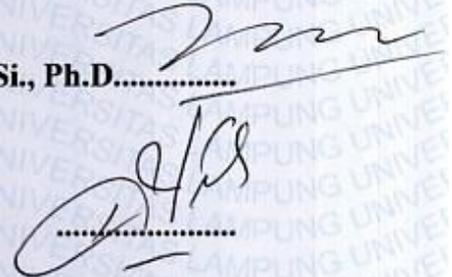


Sekretaris : **Dr. Yanti Yulianti S.Si., M.Si.**



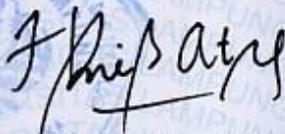
Penguji Anggota : **1. Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.....**

2. Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **11 Juli 2024**



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis yang berjudul “*Prototype Alat Uji Deteksi Cepat Buah Kelapa Pandan Wangi Berbasis Electronic Nose (E-Nose) Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan Logika Fuzzy*” tidak terdapat karya yang sama persis dengan yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku

Bandar Lampung, 26 Juni 2024



Larasati Handayani
NPM. 2227041002

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Larasati Handayani. Penulis dilahirkan di Sungai Langka pada 03 Februari 1999. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Sunarno dan Suwarni, memulai pendidikan taman kanak-kanak di TK Darma Wanita tahun 2004-2005 kemudian melanjutkan sekolah dasar di SDN 2 Sungai Langka tahun 2005-2011 lalu melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Gedong Tataan tahun 2011-2014 selanjutnya melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Gadingrejo pada tahun 2014-2017. Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Universitas Lampung tahun 2017-2022.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di prodi Magister Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur beasiswa pada tahun 2022. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten praktikum Mikrokontroler dan asisten responsi Fisika Dasar.

MOTTO

“Allah (Tuhan) tidak bermaksud menyulitkan kamu, tetapi Dia hendak membersihkan kamudan menyempurnakan nikmat-Nya bagimu, supaya kamu bersyukur”

((QS. Al-Maidah : 6)

“Jika seluruh rencana kita tidak terjadi seperti yang diharapkan, tersenyum dan ingatlah bahwa manusia mendesain dengan cita-cita, sedangkan Allah mendesain dengan cinta”

“Berpikirlah positif, tidak peduli seberapa keras kehidupanmu”

(Ali Bin Abi Thalib)

PERSEMBAHAN

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu wa ta'ala, karya ini
dipersembahkan kepada:**

Kedua Orang tuaku

Bapak Sunarno & Ibu Suwarni

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan
putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai
magister

Keluarga Besar & Teman-teman

Terimakasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat tetap
bertahan dalam keadaan suka maupun duka

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Prototype Alat Uji Deteksi Cepat Buah Kelapa Pandan Wangi Berbasis *Electronic Nose (E-Nose)* Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan Logika Fuzzy**”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki tesis ini. Semoga tesis ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 26 Juni 2024

Penulis,

Larasati Handayani

SANWACANA

Alhamdulillah, penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dorongan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini.
2. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan tesis ini menjadi lebih baik.
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku pembimbing akademik sekaligus pembahas pertama yang senantiasa memberikan bimbingan selama masa perkuliahan dan mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini.
4. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. pembahas kedua yang senantiasa mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini.
5. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
Drs. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
7. Direktur Program Pascasarjana Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
8. Para dosen, staff dan karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

9. Teristimewa kedua orang tua saya Bapak Sunarno dan Ibu Suwarni yang selalu memberikan dukungan, pengorbanan, nasihat, dan kasih sayang penulis yang tak terhingga serta doa yang tiada putusnya.
10. Kakakku Mides Guntoro dan Deswan Haryanto, Kakak iparku Jartutik dan Eva Astuti, serta Adikku Asri Arum Kinanti yang senantiasa memberikan dukungan, nasihat, dan kasih sayang pada penulis.
11. Novi Cahya Anggraeni, Inke Rengganis, Raden Ayu Nurfadhillah Rifqah, Fatimah Maratus Solehah dan Refi Nabilla yang selalu menghibur penulis, memberikan motivasi dan bantuan dalam penyusunan tesis ini.
12. Teman seperjuanganku Dwina Nurizky Syahputri dan kakak tingkatku Dewi Puspitasari yang selalu membersamai, memotivasi dan membantu dalam kerumitan pada penyusunan tesis ini.
13. Aryu Kusmita, Ajeng Rianti Dewi dan Adhito Dwi Danendra selaku tim *e-nose*.
14. Teman-teman magister fisika yang selalu memberi semangat selama perkuliahan dan penusunan tesis ini.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan tesis ini.

Semoga Allah SWT membalas dengan yang lebih baik dan menjadi pemberat amal di akhirat nanti. Aamiin.

Bandar Lampung, 26 Juni 2024

Penulis,

Larasati Handayani

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	8
2.2 Teori Dasar	12
2.2.1 Kelapa Pandan Wangi	12
2.2.2 <i>Electronic Nose (E-Nose)</i>	16
2.2.3 Arduino Nano.....	17
2.2.4 Sensor TGS-2602	18
2.2.5 Sensor TGS-2600	19

2.2.6	<i>Organic Light Emitting Diode (OLED)</i>	20
2.2.7	Modul TP4056	23
2.2.8	<i>Software Matrix Laboratory (Matlab)</i>	24
2.2.9	Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	25
2.2.10	Metode <i>Backpropagation</i>	29
2.2.11	Logika Fuzzy	30
2.2.12	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	36

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2	Alat dan Bahan	37
3.3	Prosedur Penelitian	38
3.3.1	Tahap Perancangan Sistem <i>E-nose</i>	40
3.3.2	Pengenalan Pola Data Latih	43
3.3.3	Tahap Pengambilan Data Latih	43
3.3.4	Pengelompokkan Pola Data Latih	43
3.3.5	Perancangan JST	43
3.3.6	Pelatihan JST	45
3.3.7	Pengujian JST	49
3.3.8	Perancangan Logika Fuzzy	49
3.3.9	Pengujian <i>Enose Portable</i>	52
3.3.10	Analisa Sistem	53

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Perancangan JST E-nose G2	54
4.1.1.	Perekaman Data Sampel	54
4.1.2.	Proses <i>Fitting Data</i>	55
4.1.3.	Penentuan Puncak	57
4.1.4.	Pelatihan JST	57
4.2.	Plot PCA	60
4.3.	Pengujian dan Analisis Kerja JST	61
4.4.	Analisis Parameter JST	62
4.5.	Realisasi Alat	67
4.6.	Program Arduino Nano	69
4.6.1.	Pengambilan Sampel	69
4.6.2.	Pengujian Logika Fuzzy	69
4.7.	Pengujian <i>Enose Portable</i>	70

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Simpulan	72
5.2.	Saran	72

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 PCA dari hasil pengukuran <i>e-nose</i>	9
Gambar 2.2 Responsi resistansi setiap sensor.....	10
Gambar 2.3 Plot PCA untuk mendeteksi kematangan (a) <i>blackberry</i> dan (b) <i>blueberry</i>	11
Gambar 2.4 PCA dari analisis lignin, selulosa, hemiselulosa, boron dan kalsium pada tempurung kelapa.....	13
Gambar 2.5 Distribusi data pengelompokan kelapa ' <i>Nam Hom</i> '.....	14
Gambar 2.6 Diagram skematik perkembangan perbungaan kelapa <i>Nam Hom</i> dari inisiasi perbungaan hingga pematangan bunga individu.....	15
Gambar 2.7 Diagram Pinout Arduino Nano.....	18
Gambar 2.8 Karakteristik Kepekaan Sensor TGS-2602.....	19
Gambar 2.9 Karakteristik Kepekaan Sensor TGS-2600.....	20
Gambar 2.10 Diagram <i>pinout</i> OLED.....	21
Gambar 2.11 Struktur tipikal perangkat OLED.....	22
Gambar 2.12 Diagram <i>pinout</i> modul TP4056.....	23
Gambar 2.13 JST Sederhana.....	27
Gambar 2.14 Fuzzy untuk memetakan <i>input</i> menjadi <i>output</i>	31
Gambar 2.15 Fungsi Linear.....	32
Gambar 2.16 Fungsi Segitiga.....	32
Gambar 2.17 Fungsi S.....	33
Gambar 2.18 Fungsi <i>Phi</i>	34
Gambar 2.19 Fungsi Bentuk Bahu.....	34

Gambar 2.20 Fungsi Trapesium.....	35
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 3.2 Desain <i>e-nose portable</i> 3 dimensi (a) tampak luar depan, (b) tampak luar samping, (c) tampak dalam atas dan (d) tampak dalam samping.....	40
Gambar 3.3 Rangkaian keseluruhan <i>e-nose portable</i>	41
Gambar 3.4 Skema rancangan pengambilan data menggunakan <i>e-nose</i>	42
Gambar 3.5 Diagram blok sistem <i>e-nose</i>	42
Gambar 3.6 Diagram alir perancangan JST.....	44
Gambar 3.7 Grafik respon sensor.....	45
Gambar 3.8 Arsitektur JST dengan <i>neuron hidden layer</i> 2.....	46
Gambar 3.9 Arsitektur JST dengan <i>neuron hidden layer</i> 9.....	47
Gambar 3.10 Arsitektur JST dengan <i>neuron hidden layer</i> 11.....	48
Gambar 3.11 Diagram alir perancangan logika fuzzy.....	50
Gambar 3.12 Fungsi Keanggotaan (a) TGS 2602 (b) TGS 2600.....	51
Gambar 4.1 Grafik respon sensor terhadap jenis sampel.....	58
Gambar 4.2 PCA data latih sensor untuk membedakan kelapa pandan wangi...	60
Gambar 4.3 Tampilan GUI JST.....	61
Gambar 4.4 Grafik jumlah <i>neuron hidden layer</i> terhadap (a) akurasi dan (b) presisi.....	63
Gambar 4.5 Grafik jumlah <i>neuron hidden layer</i> terhadap (a) sensitivitas dan (b) prediksi negatif.....	64
Gambar 4.6 Grafik jumlah <i>neuron hidden layer</i> terhadap spesifisitas.....	65
Gambar 4.7 Realisasi <i>prototype e-nose</i> (a) tampak depan (b) tampak belakang.	67
Gambar 4.8 Realisasi <i>prototype e-nose</i> bagian dalam.....	68

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Data latih sampel.....	43
Tabel 3.2 Jumlah <i>neuron hidden layer</i> (m) berdasarkan metode HMLP.....	45
Tabel 3.3 Data pengujian <i>e-nose</i> G2.....	49
Tabel 3.4 Hasil klasifikasi logika fuzzy metode Mamdani.....	52
Tabel 3.5 Data Pengujian <i>E-Nose Portable</i>	53
Tabel 3.6 Rancangan tabel <i>confusion matrix</i>	53
Tabel 3.7 Rancangan tabel <i>binary confusion matrix</i>	53
Tabel 4.1 <i>Error</i> hasil pelatihan JST.....	59
Tabel 4.2 Hasil prediksi setiap <i>hidden layer</i>	62
Tabel 4.3 Parameter JST per <i>neuron hidden layer</i>	62
Tabel 4.4 <i>Confusion matrix</i> JST saat <i>neuron hidden layer</i> 11.....	65
Tabel 4.5 <i>Binary confusion matrix</i> saat <i>neuron hidden layer</i> 11.....	66
Tabel 4.6 Nilai rerata parameter JST dalam mengenali kelapa pandan wangi.....	66
Tabel 4.7 Hasil klasifikasi logika fuzzy metode Mamdani.....	70
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian <i>E-Nose Portable</i>	71

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan teknologi terus mengembangkan alat deteksi yang semakin canggih dan efisien, menjadikan teknologi sensor penciuman buatan sebagai salah satu fokus utama. Teknologi sensor penciuman buatan berawal dari penemuan *array* multisensor gas pertama pada tahun 1982 (Persaud *and* Dodd, 1982). Perkembangan ini menghasilkan perangkat yang dikenal sebagai *electronic nose* (*e-nose*), yang dirancang untuk meniru sistem penciuman manusia dalam instrumen yang memungkinkan pengukuran berulang, serta identifikasi dan klasifikasi campuran gas (Wilson *and* Baietto, 2009).

E-nose didefinisikan sebagai instrumen yang terdiri dari serangkaian sensor kimia elektronik dengan kekhususan parsial dan sistem pengenalan pola yang tepat, yang mampu mengenali bau yang sederhana maupun yang kompleks (Gardner *and* Bartlett, 1994). *E-nose* adalah sistem yang terdiri dari tiga komponen fungsional yang beroperasi secara serial pada sampel bau: pengendali sampel, rangkaian sensor gas, dan sistem pemrosesan sinyal. Keluaran dari hidung elektronik dapat berupa identitas bau, perkiraan konsentrasi bau, atau sifat-sifat khas bau yang mungkin dirasakan manusia (Nagle *et al.*, 1998).

Komponen fisik dari sistem *e-nose* yang umum meliputi katup, ruang reaksi, susunan sensor gas, pompa udara untuk pembersihan dan pengambilan sampel, perangkat kontrol, dan perangkat akuisisi data (Tan *et al.*, 2019). Ruang reaksi digunakan dalam sistem *e-nose* untuk mencapai penginderaan bergerak (Arroyo *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2019). Sedangkan susunan sensor gas adalah komponen inti

dari sistem *e-nose* yang secara langsung memengaruhi sensitivitas dan akurasi. Sensor oksida logam banyak digunakan dalam sistem *e-nose* karena harganya yang murah dan sensitivitasnya yang tinggi (Rusinek *et al.*, 2019; Rusinek *et al.*, 2020). Sekelompok sensor gas ini memberikan respons ke volatil tertentu, yang kemudian dapat digunakan oleh algoritma pengenalan pola, seperti jaringan saraf tiruan (JST) dan logika fuzzy untuk melakukan klasifikasi (Tan *and* Xu, 2020).

JST merupakan sistem komputasi yang menarik inspirasi dari pengetahuan tentang sel syaraf biologi di dalam otak manusia. JST dapat dijelaskan sebagai model matematis dan komputasi yang digunakan untuk melakukan aproksimasi nonlinear, klasifikasi data, pengelompokan data (*clustering*), serta regresi non-parametrik. Selain itu, JST juga dapat digunakan sebagai alat simulasi untuk merepresentasikan berbagai model koleksi sel syaraf biologis (Kristanto, 2004). Pengenalan pola menggunakan JST pada sistem ini berguna untuk reduksi dan analisis struktur data yaitu berupa pengenalan pola terawasi atau *supervised pattern recognition* (Astuti dan Faizah, 2016). Sistem komputasi, arsitektur dan operasi dari JST terinspirasi dari sel syaraf dalam otak manusia. JST memiliki beberapa elemen pengolahan (*neuron*) yang saling terhubung (Jauhari *et al.*, 2016). JST dapat digunakan dalam pengenalan pola untuk peramalan atau prediksi, deteksi kemiripan, klasifikasi serta *clustering* (Zola *et al.*, 2018). Selain itu, penggunaan analisis JST menggunakan metode *backpropagation* dengan sampel uji senyawa berbahaya seperti boraks, dan formalin (Hidayat *et al.*, 2019).

Logika fuzzy merupakan elemen kunci dalam teknik penyelesaian masalah *reasoning* atau penalaran. Teknik ini menggambarkan masalah dalam basis pengetahuan menggunakan logika, dan logika fuzzy hadir sebagai hasil pengembangan teori himpunan fuzzy untuk menangani masalah dengan ketidakpastian (Nur *et al.*, 2021). Logika fuzzy merupakan perkembangan dari logika Boolean yang memperkenalkan ide kebenaran sebagian. Sementara logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat diungkapkan dalam istilah biner seperti 0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak, logika fuzzy memperkenalkan konsep tingkat kebenaran. Dengan Logika fuzzy, nilai keanggotaan dapat berada dalam

rentang antara 0 dan 1, menciptakan tingkat keabuan yang mencakup area antara hitam dan putih. Dalam konteks linguistik, Logika fuzzy memungkinkan representasi konsep yang tidak pasti, seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat" (Ratama dan Munawaroh, 2019). Selain itu, logika fuzzy memiliki kemampuan untuk melakukan penalaran dengan cara yang mirip dengan kemampuan penalaran manusia, karena mereka dapat memberikan respons berdasarkan informasi yang bersifat kualitatif, tidak akurat, dan rumit (Hakim *et al.*, 2021).

E-nose memiliki aplikasi yang luas dalam kehidupan yang berhubungan dengan bau, seperti jenis cuka (Wu *et al.*, 2020), kesegaran daging (Chen *et al.*, 2019), bir (Viejo *et al.*, 2020), anggur (Liu *et al.*, 2019), kopi (Dong *et al.*, 2019; Wakhid *et al.*, 2020; Palacín *et al.*, 2022), pemantauan lingkungan (Mawardzi *et al.*, 2019) dan obat-obatan (Wasilewski *et al.*, 2019). Teknologi *e-nose* juga digunakan untuk merefleksikan senyawa volatil dari sampel (Priego and Castro, 2019; Jia *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2019), yang merupakan informasi sensorik eksternal yang terdiri dari beberapa komposisi kimia (Shi *et al.*, 2020). Konsep *e-nose* sangat menantang bagi para insinyur yang terlibat dalam pembuatan perangkat sensor yang lebih baik, lebih murah, dan lebih kecil (Dragonieri *et al.*, 2017). Keunggulan *e-nose* dibandingkan dengan indera manusia antara lain memiliki objektivitas yang lebih tinggi, respon yang tidak berubah-ubah dengan waktu, dan mendukung keberhasilan analisis yang dilakukan secara rutin (Ismarti, 2021).

Pohon kelapa diperkirakan berasal dari kawasan Asia Tenggara, sementara yang lain memperkirakan pohon ini berasal dari barat laut Amerika Selatan. Fosil kelapa yang diperkirakan berusia 15 juta tahun yang lalu ditemukan di Selandia Baru (Winarti, 2018). Tanaman kelapa merupakan tanaman serbaguna yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Seluruh bagian dari tanaman kelapa dapat dimanfaatkan menjadi berbagai produk yang bermanfaat bagi manusia (Amin and Prabandono, 2014). Tanaman kelapa dapat dimanfaatkan baik untuk tujuan kuliner maupun non kuliner, sehingga pohon kelapa dalam bahasa Melayu dinamakan sebagai pohon kehidupan (Winarno, 2014). Terdiri dari jaringan lapisan luar berserat yang disebut sabut kelapa yang menutupi lapisan keras yang disebut tempurung (Priya, 2014).

Ada beberapa jenis kelapa yang berbeda, namun secara umum, kelapa dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu: kelapa genjah dan kelapa dalam. Kelapa genjah adalah varietas kelapa yang baru menghasilkan buah setelah 4-6 tahun ditanam, misalnya kelapa pandan wangi, kelapa gading, kelapa raja, dan kelapa malabar serta kelapa puyuh. Sedangkan kelapa dalam adalah kelapa yang baru berbuah setelah mencapai umur 15 tahun setelah tanam (Zulaikhah, 2019).

Salah satu kelapa yang memiliki potensi tinggi untuk dikembangkan yaitu kelapa pandan wangi. Kelapa pandan wangi adalah salah satu kelapa eksotik dengan karakter spesifik pada buahnya. Aroma wangi pandan pada sabut air dan daging buahnya serta citarasa pandan dan manis pada air dan daging buahnya menjadi ciri khas kelapa yang diketahui aslinya dari Thailand dengan nama '*Aromatic Nam Hom Coconuts*' (Disbunak Sumut, 2023). Daging kelapa mengandung lakton seperti oktalakton dan delakton, sedangkan lakton jenuh -C₈, -C₁₀, dan -C₁₂ merupakan komponen utama yang memberikan karakteristik rasa kelapa yang ringan dan manis pada daging (Jirapong *et al.*, 2015). Kelapa ini terdiri dari aromatic senyawa 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP), dalam air dan daging buah (Luckanatinvong, 2015).

Kelapa tersebut menjadi salah satu kelapa konsumsi yang sangat diminati. Oleh karena itu banyak orang yang mengembangkan kelapa tersebut. Namun dalam perkembangannya serbuk benang sari kelapa pandan wangi mudah terurai dengan kelapa jenis lain yang menyebabkan kelapa pandan wangi tersebut tidak asli lagi. Untuk mengenali kelapa pandan wangi kita dapat menggunakan indra penciuman atau hidung. Indra penciuman atau hidung akan mengalami gangguan apabila terpapar secara terus menerus, hal ini mengakibatkan gangguan saraf penciuman. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat menggantikan peran dari indra penciuman untuk mengenali kelapa pandan wangi.

Beberapa penelitian mengenai kelapa pandan wangi termasuk Nikhontha *et al.* (2019). Penelitian tersebut merujuk pada pertumbuhan buah, lignifikasi endokarp, dan konsentrasi boron dan kalsium pada kelapa '*Nam Hom*' selama perkembangan buah dipelajari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses akumulasi lignin

dimulai dari ujung tangkai buah dan berlangsung hingga ujung batang. Lignifikasi endokarp ini selesai terjadi dalam tempurung pada periode 6 bulan setelah pembungaan. Konsentrasi selulosa dan hemiselulosa pada tempurung kelapa mengalami peningkatan yang signifikan dari bulan ke-2 hingga ke-6, kemudian tetap konstan. Jumlah serat pada sabut kelapa meningkat seiring bertambahnya usia buah dan mencapai puncaknya pada saat panen terakhir. Kandungan serat sabut kelapa meningkat seiring dengan bertambahnya usia buah dan mencapai puncaknya pada saat panen akhir. Konsentrasi boron dalam sabut kelapa menurun seiring dengan bertambahnya umur buah, sedangkan konsentrasi tertinggi dalam tempurung kelapa terjadi pada umur 4-5 bulan dan kemudian menurun. Konsentrasi kalsium dalam sabut kelapa menurun hanya sedikit selama perkembangan buah, sementara konsentrasi kalsium dalam tempurung kelapa menurun seiring bertambahnya usia buah.

Penelitian mengenai perkembangan bunga pada kelapa aromatik Thailand telah dilakukan oleh Krisanapook *et al.* (2019). Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan histologi perbungaan antara kelapa aromatik kerdil Thailand, '*Nam Hom*', dan kelapa tipe tinggi secara umum. Kedua jenis kelapa ini mengalami tahapan perbungaan dan perkembangan bunga yang serupa. Namun, '*Nam Hom*' menunjukkan jumlah perbungaan yang lebih banyak dibandingkan dengan kelapa tipe tinggi pada setiap tahap perkembangannya. Selama dua tahun masa perkembangan reproduksi, pembentukan bunga membutuhkan waktu sekitar satu tahun, sedangkan penentuan jenis kelamin terjadi sekitar 3-4 bulan. Meskipun terdapat perbedaan dalam jumlah tandan yang dihasilkan per tahun antara kedua jenis kelapa ini, perbungaan dan perkembangan bunganya tidak menunjukkan perbedaan signifikan dalam hal durasi dan waktu terjadinya.

Berdasarkan paparan di atas maka akan dirancang alat yang dapat menggantikan peran dari indra penciuman untuk mengenali kelapa pandan wangi secara cepat yaitu *e-nose portable*. Dalam penelitian ini, sistem *e-nose* yang digunakan terdiri atas sensor gas TGS-2602 dan TGS-2600. Sebelum digunakan, sensitivitas semua sensor akan dikalibrasi dan diuji dengan memberikan gas dengan massa sampel

tertentu. *E-nose* akan dilatih untuk membedakan kelapa pandan wangi dengan menganalisa gas kelapa pandan wangi tersebut. Data yang diperoleh dalam proses pembelajaran akan diolah dengan menggunakan JST dan logika *fuzzy*. JST yang diterapkan menggunakan metode *backpropagation*, sementara logika *fuzzy* menggunakan metode *mamdani* melalui perangkat lunak Matlab 2013a.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang sistem *e-nose portable* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* dan logika *fuzzy* dengan metode *mamdani* untuk mengenali kelapa pandan wangi?
2. Bagaimana membuat program JST dan logika *fuzzy* untuk mengenali kelapa pandan wangi dengan *e-nose*?
3. Bagaimana menganalisis pola yang terbentuk menggunakan *Principle Component Analysis* (PCA)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang sistem *e-nose portable* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* dan logika *fuzzy* dengan metode *mamdani* untuk mengenali kelapa pandan wangi.
2. Membuat program JST dan logika *fuzzy* untuk mengenali kelapa pandan wangi dengan *e-nose*.
3. Menganalisis pola yang terbentuk menggunakan PCA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terealisasikannya aplikasi sistem *e-nose portable* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* dan logika fuzzy dengan metode mamdani untuk mengidentifikasi kelapa pandan wangi
2. Sebagai alat alternatif yang mampu membedakan kelapa pandan wangi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode JST yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *backpropagation*.
2. Metode logika fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah metode mamdani.
3. *E-nose* dilatih untuk dapat membedakan kelapa pandan wangi menggunakan JST dan logika fuzzy.
4. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah bunga kelapa pandan wangi.
5. Penelitian hanya terbatas pada perkembangan bau yang ada pada sampel.
6. Sensor yang digunakan adalah TGS-2602 dan TGS-2600.

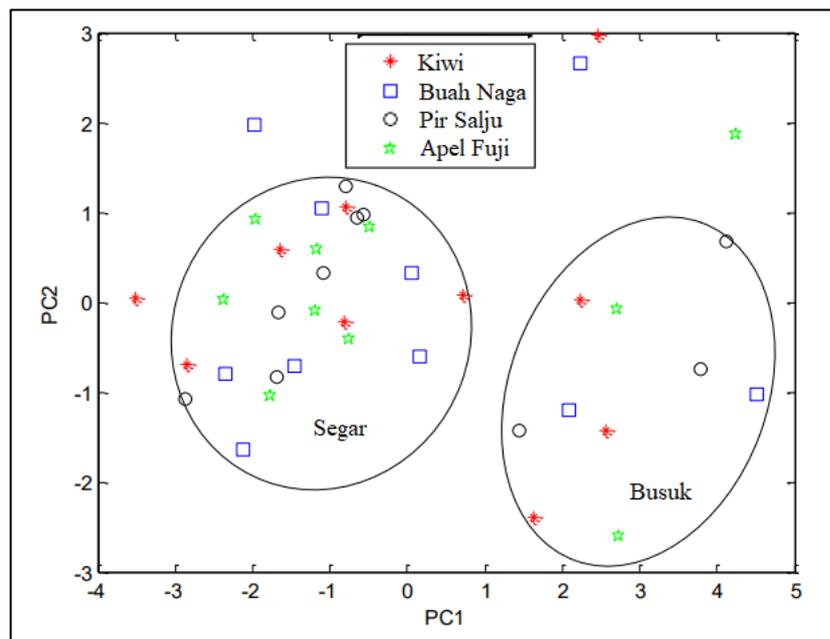
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Banyak peneliti telah melakukan penelitian untuk mengidentifikasi sampel menggunakan *e-nose*, masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda. Beberapa diantaranya dijadikan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Fadhillah (2019) telah melakukan penelitian untuk mengidentifikasi diabetes militus dengan *electronic nose* menggunakan JST. Sensor gas yang digunakan adalah MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822. Sensor MQ-3, TGS-2600, dan TGS-2602 digunakan untuk mendeteksi gas etanol. Sedangkan untuk TGS-2611 dan TGS-822 digunakan untuk mendeteksi gas aseton yang dihembuskan oleh penderita penyakit diabetes militus. Sebelum digunakan, semua sensor dikalibrasi dan diuji tingkat sensitifitasnya masing-masing dengan cara memberikan gas yang mampu dideteksi sensor dengan konsentrasi *parts per million* (ppm) tertentu. Gas sampel akan dianalisa di dalam *chamber* yang terhubung dengan pompa untuk mengontrol gas yang ada di *chamber*. *E-nose* dilatih untuk membedakan penderita penyakit diabetes dengan menganalisa gas ekspirasi pasien penderita penyakit diabetes yang telah terdiagnosa dan orang normal. Data yang diperoleh dari proses pelatihan diolah menggunakan JST. Metode JST yang digunakan adalah *backpropagation* yang dibuat menggunakan *software* Matlab 2014. Hasil penelitian yang diperoleh adalah nilai persentase variasinya PCA1 sebesar 87,24%, sedangkan PCA2 bernilai sebesar 8,54%. Sehingga PCA1 dan PCA2 menjelaskan 95,78% informasi pada data latih pasien diabetes militus dan orang normal.

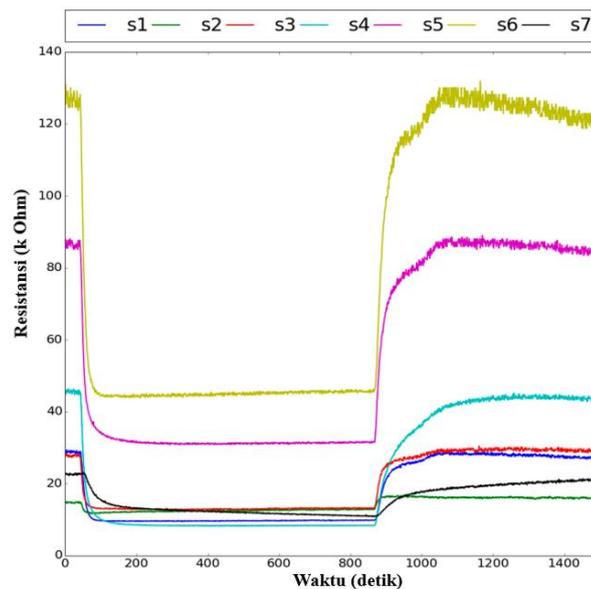
Ding *et al.* (2018) telah melakukan penelitian untuk mendeteksi buah-buahan menggunakan *e-nose*. Penelitian ini terdiri dari susunan sensor, modul akuisisi data, dan perangkat lunak komputer. Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu buah naga, pir salju, buah kiwi, dan apel fuji. Perangkat lunak akuisisi dan analisis data yang digunakan berbasis *platform Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* (LabVIEW), kemudian PCA digunakan untuk menganalisis tingkat kerusakan buah. PCA dari hasil pengukuran *e-nose* yang telah dilakukan ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 PCA dari hasil pengukuran *e-nose* (Ding *et al.*, 2018).

Gambar 2.1 menunjukkan PCA dari hasil pengukuran *e-nose*. PCA dilakukan pada 10 set data. Rasio kontribusi total dari dua komponen utama pertama dari setiap kelompok data melebihi 90%, sehingga komponen utama pertama dan kedua dapat mengkarakterisasi data mentah. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan PCA dapat mengklasifikasikan buah ke dalam kelas segar dan rusak. Hasil analisis menunjukkan bahwa keempat buah tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam dua tingkat kesegaran dan kerusakan sesuai dengan waktu penyimpanan, yang mengkonfirmasi kelayakan sistem ini dan memberikan referensi untuk penggunaan lebih lanjut dari *e-nose* untuk deteksi kualitas buah.

Chen *et al.* (2018) telah melakukan penelitian mengenai pengembangan sistem *e-nose* dan kamera ganda yang memanfaatkan informasi penciuman dan penglihatan untuk pemantauan kualitas buah. Sampel pada penelitian ini adalah pisang. Perubahan warna kulit buah diakui sebagai tingkat kematangan dalam percobaan, yaitu mentah, setengah matang, matang, dan terlalu matang.. Array sensor menggunakan 7 sensor MOS yaitu TGS-2600, TGS-2602, TGS-2603, TGS-2610, TGS-2611, TGS-2612, dan TGS-2620. Respon resistansi setiap sensor pada saat pengambilan data ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.

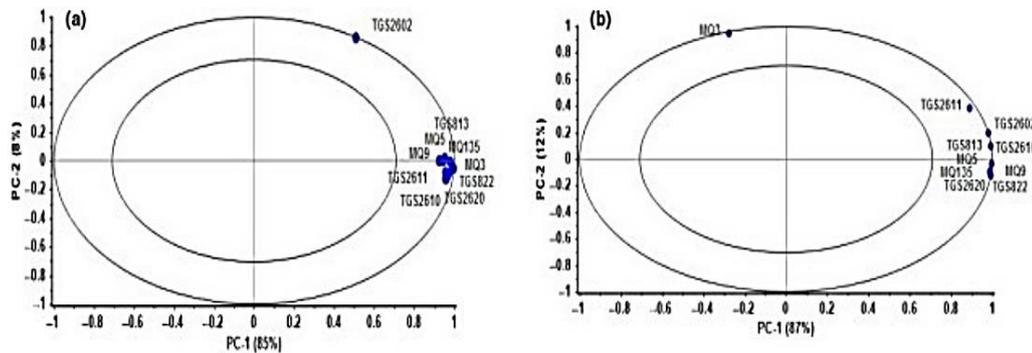


Gambar 2.2 Responsi resistansi setiap sensor (Chen *et al.*, 2018).

Gambar 2.2 menunjukkan respons resistansi sensor yang khas. Algoritma klasifikasi dilatih dengan 70% sampel data dari pisang pada empat tingkat kematangan yang berbeda dan 30% dari data yang tersisa digunakan untuk validasi dan pengujian. Hasil analisis PCA yang diperoleh adalah PC1 sebesar 86,73% dan PC2 sebesar 13,36%. Sedangkan algoritma klasifikasi seperti *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan *Support Vector Machine* (SVM) menghasilkan akurasi 100% dan 96,66%.

Aghilinategh *et al.* (2020) telah melakukan penelitian mengenai deteksi tingkat kematangan buah beri menggunakan *e-nose*. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah buah beri putih dan hitam. Dalam penelitian ini, *e-nose*

dirancang menggunakan sepuluh sensor semikonduktor oksida logam dengan *Linear Discriminant Analysis* (LDA), PCA, dan JST untuk menentukan tingkat kematangan buah beri putih dan beri hitam digunakan. Sensor ditampilkan dalam *loading plot* dengan nilai koefisien tertentu yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Plot PCA untuk mendeteksi kematangan (a) *blackberry* dan (b) *blueberry* (Aghilinategh *et al.*, 2020).

Gambar 2.3 menunjukkan plot PCA untuk mendeteksi kematangan (a) *blackberry* dan (b) *blueberry*. Nilai koefisien yang tinggi untuk suatu sensor dalam loading plot menunjukkan peran penting sensor tersebut dalam mendeteksi RG buah beri. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semua sensor memberikan kontribusi sangat baik. Pada sampel *blackberry* MQ-9 dan TGS-2611 memiliki respons terendah dibandingkan dengan sensor lainnya, sedangkan untuk sampel *blueberry* sensor MQ-3 dan TGS-2602 menunjukkan kontribusi tertinggi, dan sensor MQ-9 dan TGS-2610 memiliki respon terendah. Klasifikasi yang paling tidak tepat untuk buah beri putih diamati dalam metode LDA.

Rahmani *et al.* (2018) telah melakukan penelitian mengenai klasifikasi kakao berbasis *e-nose* dengan metode *neuro fuzzy*. Setiap sampel kakao dibagi menjadi sepuluh buah sampel dengan massa yang sama yaitu 50 gram. Jumlah keseluruhan sampel ada 30 buah. Sampel-sampel ditempatkan dalam wadah plastik untuk menyimpan sampel setelah di timbang. Semua sampel tahu yang total berjumlah 30 buah sampel kemudian diuji dengan *electronic nose*. Adapun deret sensor gas yang digunakan adalah MQ-3, MQ-4, MQ-9, MQ-136, TGS-813, TGS-822, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2610, TGS-2611, dan TGS-2620. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa *neuro fuzzy* dapat mengidentifikasi sampel dengan tingkat

akurasi 95,21% sehingga klasifikasi mutu kakao dengan *e-nose* menggunakan analisis *neuro fuzzy* telah berhasil dilakukan (Rahmani *et al.*, 2018).

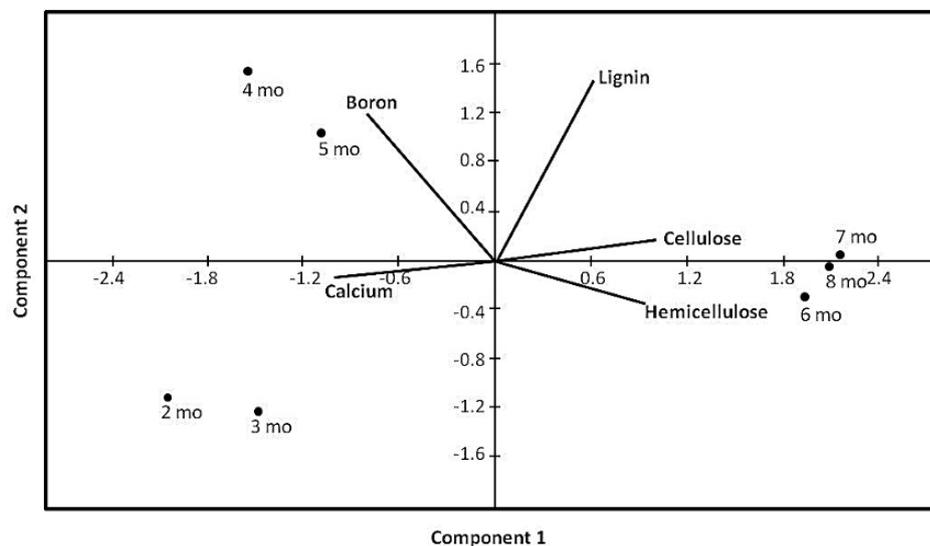
2.2 Teori Dasar

2.2.1 Kelapa Pandan Wangi

Kelapa pandan wangi adalah salah satu kelapa eksotik dengan karakter spesifik pada buahnya. Aroma wangi pandan pada sabut air dan daging buahnya serta cita rasa pandan dan manis pada air dan daging buahnya menjadi ciri khas kelapa yang diketahui aslinya dari Thailand dengan nama '*Aromatic Nam Hom Coconuts*'. Kelapa pandan wangi memiliki beberapa manfaat yang tidak dimiliki oleh jenis sebelumnya. Kelapa pandan wangi berbeda dengan tanaman genjah umumnya karena mulai berbuah lebih awal, kira-kira 3-5 tahun setelah tanam (Disbunak Sumut, 2023). Kelapa ini terdiri dari aromatic senyawa 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP), dalam air dan daging buah (Luckanatinvong, 2015).

Penelitian mengenai pertumbuhan buah, lignifikasi endokarp, dan konsentrasi boron dan kalsium pada kelapa '*Nam Hom*' selama perkembangan buah telah dilakukan Nikhontha *et al.* (2019). Dua puluh empat pohon kelapa *nam hom* dipilih dari sebuah kebun di provinsi Samut Sakhon, Thailand, dan masing-masing berusia 7 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses akumulasi lignin dimulai dari ujung tangkai buah dan berlangsung hingga ujung batang. Lignifikasi endokarp ini selesai terjadi dalam tempurung pada periode 6 bulan setelah pembungaan. Konsentrasi selulosa dan hemiselulosa pada tempurung kelapa mengalami peningkatan yang signifikan dari bulan ke-2 hingga ke-6, kemudian tetap konstan. Jumlah serat pada sabut kelapa meningkat seiring bertambahnya usia buah dan mencapai puncaknya pada saat panen terakhir. Kandungan serat sabut kelapa meningkat seiring dengan bertambahnya usia buah dan mencapai puncaknya pada saat panen akhir. Konsentrasi boron dalam sabut kelapa menurun seiring dengan bertambahnya umur buah, sedangkan konsentrasi tertinggi dalam tempurung kelapa terjadi pada umur 4-5 bulan dan kemudian menurun. Konsentrasi kalsium dalam

sabut kelapa menurun hanya sedikit selama perkembangan buah, sementara konsentrasi kalsium dalam tempurung kelapa menurun seiring bertambahnya usia buah. Adapun PCA dari analisis lignin, selulosa, hemiselulosa, boron dan kalsium pada tempurung kelapa dan buah kelapa 2 bulan, 3 bulan, 4 bulan, 5 bulan, 6 bulan, 7 bulan, dan 8 bulan yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

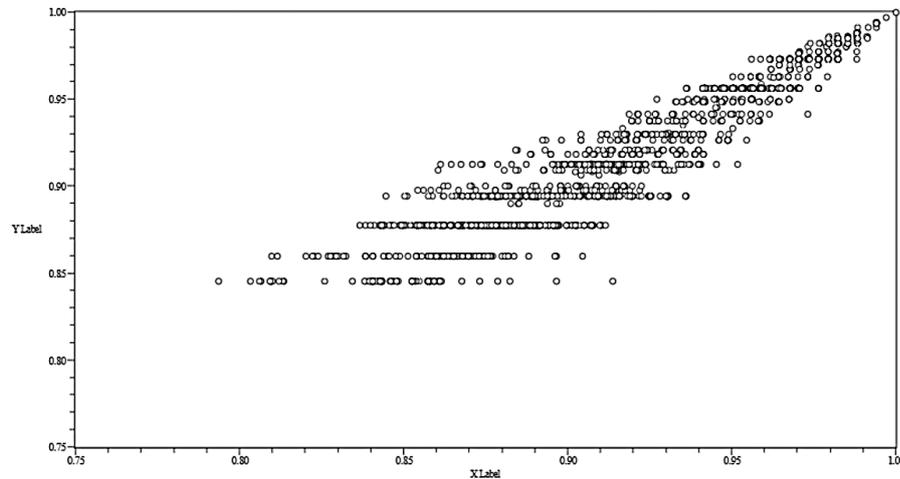


Gambar 2.4 PCA dari analisis lignin, selulosa, hemiselulosa, boron dan kalsium pada tempurung kelapa (Nikhontha *et al.*, 2019).

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa komponen pertama (PC1) dengan nilai eigen yang lebih besar dari 1,0 berkontribusi sekitar 76,26%. Nilai tertinggi pada PC1 mengindikasikan pentingnya komponen ini, dengan komponen dinding sel, boron dan kalsium yang mewakili porsi terbesar dari komponen-komponen yang terkait dengan pembentukan tempurung pada kelapa '*Nam Hom*'. Analisis PCA menunjukkan bahwa konsentrasi lignin, selulosa dan hemiselulosa sangat terkait dengan lignifikasi endokarp. Sementara itu, konsentrasi kalsium dan boron berkorelasi dengan baik dengan tahap awal perkembangan endokarp (2-5 bulan).

Variasi genetik pada kelapa '*Nam Hom*' yang dibudidayakan di wilayah barat Thailand telah dilakukan oleh Nartvaranant (2019) dengan menggunakan metode analisis genetik molekuler yaitu *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP). Penelitian ini menggunakan sampel daun kelapa matang segar diambil di berbagai lokasi di wilayah barat Thailand. Secara keseluruhan ada lima puluh lima

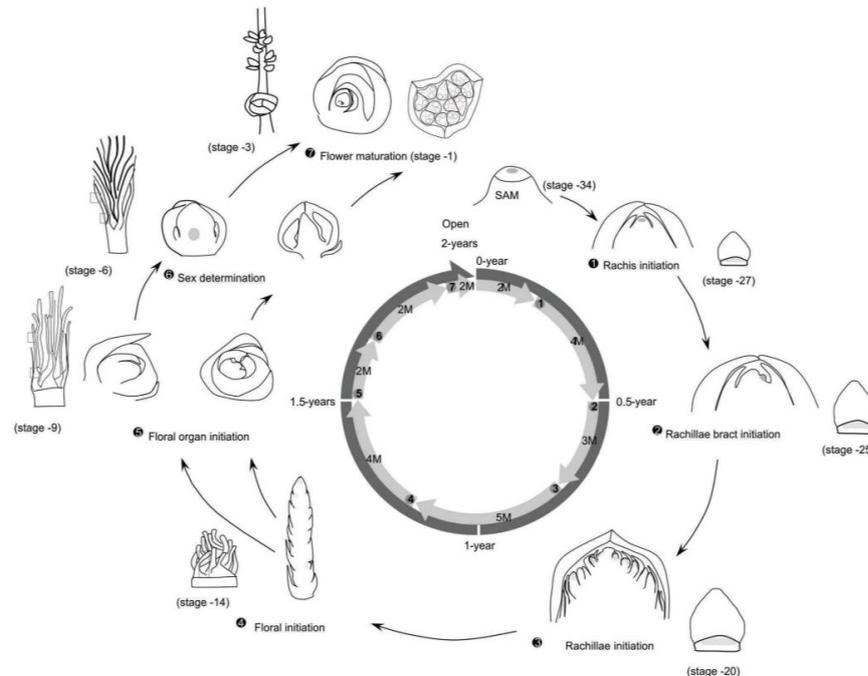
sampel yang diteliti variasi genetiknya dalam penelitian ini. Distribusi data pengelompokan kelapa "*Nam Hom*" yang diperoleh dari 55 sampel ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Distribusi data pengelompokan kelapa '*Nam Hom*' (Nartvaranant, 2019).

Gambar 2.5 menunjukkan distribusi data pengelompokan kelapa '*Nam Hom*'. Hasil penelitian menemukan kesamaan genetik pada sampel variasi daun yang sama yang ditanam di tempat yang berbeda. Hasil ini sejalan dengan temuan sebelumnya, yang menyatakan bahwa kelapa kerdil dapat melakukan penyerbukan sendiri dan menghasilkan populasi yang seragam dengan sedikit variasi genetik. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa sampel yang dikumpulkan dari kelapa '*Nam Hom*' di lokasi yang berbeda memiliki kemiripan genetik.

Penelitian mengenai perkembangan bunga pada kelapa '*Nam Hom*' Thailand yang kerdil telah dilakukan oleh Krisanapook *et al.* (2019). Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan histologi perbungaan antara kelapa aromatik kerdil Thailand, '*Nam Hom*', dan kelapa tipe tinggi secara umum. Diagram skematik perkembangan perbungaan kelapa '*Nam Hom*' dari inisiasi perbungaan hingga pematangan bunga individu ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Diagram skematik perkembangan perbungaan kelapa *Nam Hom* dari inisiasi perbungaan hingga pematangan bunga individu (Krisanapook *et al.*, 2019).

Penelitian untuk mengamati perubahan sifat fisika-kimia, komposisi asam lemak bebas, senyawa organik volatil, dan komponen flavor yang tidak mudah menguap pada cairan endosperma buah kelapa '*Nam Hom*' muda pada dua tingkat kematangan, yaitu tingkat kematangan daging buah satu dan dua lapis telah dilakukan oleh Jirapong *et al.* (2015). Cairan dari buah kelapa muda yang dikumpulkan pada 6,0 MAA dan 7,0-7,5 MAA telah dianalisis untuk beberapa parameter. Analisis melibatkan pengukuran transparansi, total padatan terlarut, keasaman yang dapat dititrasi, dan pH. Untuk mengukur transmisi cahaya melalui air kelapa, digunakan spektrofotometer UV-1601 pada panjang gelombang 610 nm, dan hasilnya dicatat sebagai persentase transmitansi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cairan endosperma buah kelapa menjadi lebih manis dan lebih keruh pada akhir pematangan. Asam laurat ($C_{12:0}$) dan asam miristat ($C_{14:0}$) merupakan asam lemak bebas utama dalam cairan air kelapa. Konsentrasi asam lemak rantai pendek ($C_{10} - C_{12}$) sedikit meningkat, dan konsentrasi asam lemak rantai panjang $C_{14} - C_{18}$ menurun ketika buah matang dari tahap satu ke tahap dua lapis daging buah. Ekstraksi pelarut menunjukkan peningkatan 1,4 kali lipat dalam konsentrasi total *Volatile Organic Compounds* (VOC) dalam air selama perkembangan buah. Hal ini

terkait dengan peningkatan besar pada *squalene* dan *sterol*, menjadi 21,7% dari total VOC dan senyawa organik yang tidak mudah menguap, sedangkan konsentrasi *terpene* dan *ester* tetap stabil.

2.2.2 *Electronic Nose (E-Nose)*

E-Nose didefinisikan instrumen yang terdiri dari serangkaian sensor sensitif bahan kimia yang mendeteksi bau sederhana dan menyimpan informasi secara digital dalam memori perangkat (Gancarz *et al.*, 2019). *E-Nose* mampu mengenali karakteristik rasa yang kompleks (Xu *et al.*, 2018) dan menawarkan kinerja yang sangat baik dalam hal waktu respons, kecepatan pengenalan, interval evaluasi, dan pengulangan (Jia *et al.*, 2018). *E-Nose* muncul sebagai metode non-destruktif yang banyak digunakan untuk membedakan makanan karena kemudahan penggunaan, biaya rendah, dan waktu analisis yang singkat (Modupalli *et al.*, 2021).

Secara keseluruhan, suatu sistem deteksi aroma menggunakan teknologi *e-nose* umumnya terdiri dari tiga elemen utama:

1) Sistem Pengiriman dan Pengambilan Sampel (Pra-konsentrator)

Fungsi utama sistem ini adalah untuk mengelola pengiriman dan pengambilan sampel gas uap. Melibatkan proses penyaringan dan pengkondisian awal pada gas uap yang akan dianalisis.

2) Susunan Sensor

Bagian ini berperan dalam mengubah interaksi kimiawi dari senyawa aroma menjadi sinyal listrik. Sensor ini berfungsi sebagai pengukur respons terhadap berbagai zat kimia dalam aroma.

3) Sistem Pengenalan Pola Otomatis

Sistem pengenalan pola otomatis merupakan sistem komputasi yang otomatis mengevaluasi data yang diterima dari susunan sensor. Transformasi data ini dilakukan agar dapat dipahami oleh manusia (Gowdhaman *et al.*, 2020).

E-Nose telah menjadi alat yang menjanjikan untuk memecahkan masalah selektivitas gas sensor gas berbasis *Metal Oxide Semiconductor* (MOS). Organ penciuman biologis alam memiliki kemampuan untuk membedakan gas

menggunakan kombinasi dari sekumpulan reseptor penciuman yang peka silang, kode penciuman, dan sistem pengenalan. Selektivitas gas dicapai dengan keunikan kode bau yang dihasilkan (Hayasaka *et al.*, 2020).

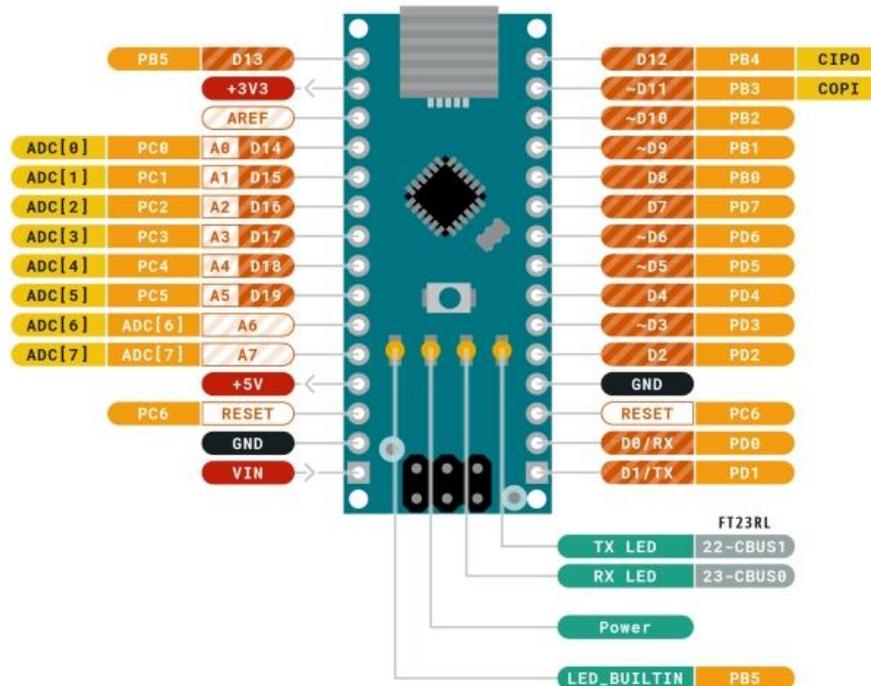
Komponen fisik dari sistem *e-nose* yang umum meliputi katup, ruang reaksi, susunan sensor gas, pompa udara untuk pembersihan dan pengambilan sampel, perangkat kontrol, dan perangkat akuisisi data (Tan *et al.*, 2019). Ruang reaksi digunakan dalam sistem *e-nose* untuk mencapai penginderaan bergerak (Arroyo *et al.*, 2020; Fan *et al.*, 2019). Sedangkan susunan sensor gas adalah komponen inti dari sistem *e-nose* yang secara langsung memengaruhi sensitivitas dan akurasinya. Sensor MOS banyak digunakan dalam sistem *e-nose* karena harganya yang murah dan sensitivitasnya yang tinggi (Rusinek *et al.*, 2019; Rusinek *et al.*, 2020). Sekelompok sensor gas ini memberikan respons ke volatil tertentu, yang kemudian dapat digunakan oleh algoritma pengenalan pola, seperti jaringan saraf tiruan (JST) dan logika *fuzzy*, untuk melakukan klasifikasi (Tan and Xu, 2020).

E-nose memiliki aplikasi yang luas dalam kehidupan yang berhubungan dengan bau, seperti jenis cuka (Wu *et al.*, 2020), kesegaran daging (Chen *et al.*, 2019), bir (Viejo *et al.*, 2020), anggur (Liu *et al.*, 2019), kopi (Dong *et al.*, 2019; Wakhid *et al.*, 2020), pemantauan lingkungan (Mawardzi *et al.*, 2019) dan obat-obatan (Wasilewski *et al.*, 2019). Teknologi *E-nose* juga digunakan untuk merefleksikan senyawa volatil dari sampel (Priego and Castro, 2019; Jia *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2019), yang merupakan informasi sensorik eksternal yang terdiri dari beberapa komposisi kimia (Shi *et al.*, 2020). Konsep *e-nose* sangat menantang bagi para insinyur yang terlibat dalam pembuatan perangkat sensor yang lebih baik, lebih murah, dan lebih kecil (Dragonieri *et al.*, 2017).

2.2.3 Arduino Nano

Arduino nano adalah sebuah papan mikrokontroler berukuran yang berukuran kecil, lengkap, dan salah satu board yang menggunakan IC ATmega328P yang dikenal sebagai Arduino nano V3. Meskipun fungsinya serupa dengan Arduino Uno, Arduino nano memiliki paket yang berbeda. Arduino nano terhubung ke

perangkat dengan kabel USB Mini-B, berbeda dari kabel USB standar (Widharma and Wiranata, 2022). Diagram *pinout* Arduino nano ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



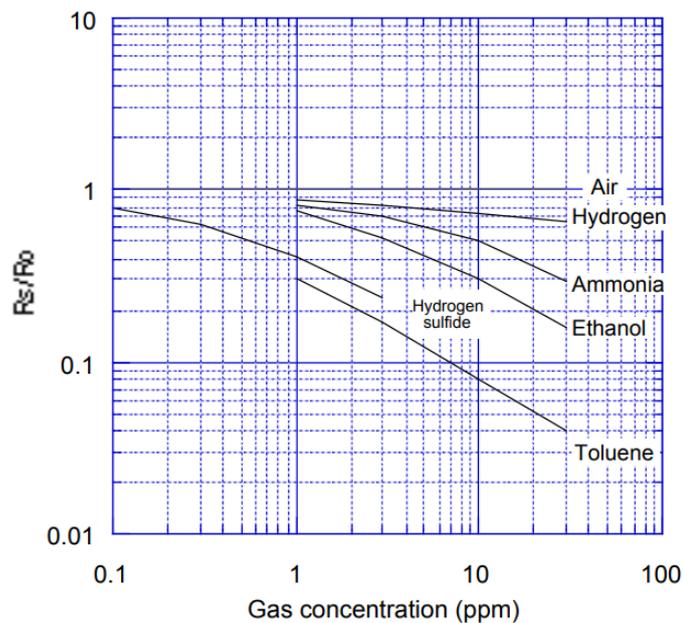
Gambar 2.7 Diagram *Pinout* Arduino Nano (Arduino, 2024).

Arduino Nano memiliki 14 pin I/O digital dan 6 pin *input* analog, serta 32 *kilobyte* (kB) memori program, 1 kB *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM), dan 2 kB *Random-Access Memory* (RAM) yang mendukung tegangan daya 5 V dan 3,3 V. Salah satu keuntungan besar dari Arduino Nano adalah harganya yang terjangkau, yang membuatnya pilihan yang terjangkau untuk proyek yang membutuhkan banyak papan. Papan Arduino nano paling kecil, membuatnya sangat *portable* (Kondaveeti *et al.*, 2021).

2.2.4 Sensor TGS-2602

Sensor TGS-2602 merupakan sebuah sensor gas yang diciptakan dengan tujuan mendeteksi pencemar udara, terutama gas-gas berbau dan senyawa organik yang mudah menguap, juga dikenal sebagai VOC. Sensor ini mempunyai tingkat

sensitivitas yang tinggi terhadap konsentrasi gas-gas tersebut, menjadikannya cocok untuk digunakan dalam pemantauan kualitas udara dalam ruangan dan pengendalian perangkat pembersih udara. Sensor ini memiliki rentang deteksi dari 0 hingga 10 ppm dan beroperasi dengan tegangan *Direct Current* (DC) sebesar 6 V. Gas-gas yang dapat dideteksi oleh TGS-2602 meliputi polutan udara seperti VOC, amonia, dan Hidrogen Sulfida (H_2S). Grafik kepekaan sensor TGS-2602 dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



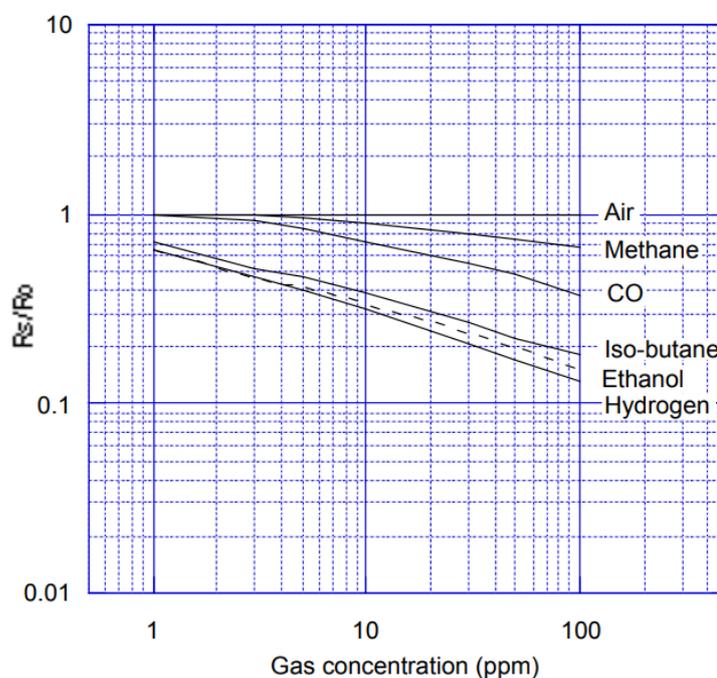
Gambar 2.8 Karakteristik Kepekaan Sensor TGS-2602 (Figaro, 2023a).

Gambar 2.8 menunjukkan grafik karakteristik kepekaan sensor TGS-2602. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk mendapatkan nilai ppm yang sebenarnya. Nilai yang didapatkan dari setiap poin-poin gas memerlukan analisis sehingga bisa mendapatkan nilai poin yang akurat, mulai dari menentukan nilai *Resistance of sensor* (R_s), *Resistance of oksigen* (R_o), serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik.

2.2.5 Sensor TGS-2600

TGS-2600 adalah sensor *solid-state* berbiaya rendah pertama yang menunjukkan respons terhadap konsentrasi Metana (CH_4) di lingkungan sekitar dalam rentang

1,8-2,7 $\mu\text{mol/mol}$ (Eugster *et al.*, 2020). TGS-2600 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap konsentrasi rendah kontaminan udara gas, seperti hidrogen dan karbon monoksida yang terdapat dalam asap rokok. Dengan bantuan miniaturisasi *chip* deteksi, TGS-2600 hanya membutuhkan arus pemanas sebesar 42 mA. Grafik kepekaan sensor TGS-2602 dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Karakteristik Kepekaan Sensor TGS-2600 (Figaro, 2023b).

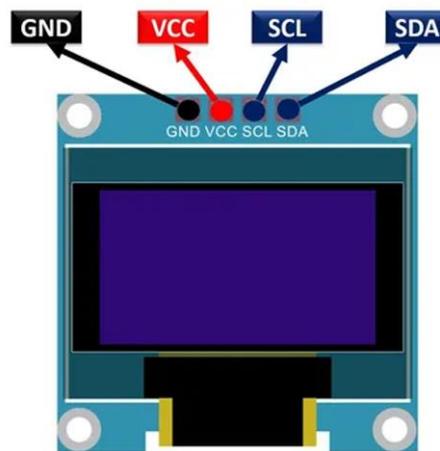
Gambar 2.9 menunjukkan grafik karakteristik kepekaan sensor TGS-2600. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk mendapatkan nilai ppm yang sebenarnya. Nilai yang didapatkan dari setiap poin-poin gas memerlukan analisis sehingga bisa mendapatkan nilai poin yang akurat, mulai dari menentukan nilai R_s , R_o , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik.

2.2.6 Organic Light Emitting Diode (OLED)

Organic Light Emitting Diode (OLED) merupakan layar terdiri dari panel yang berisi elemen-elemen organik yang dapat mengeluarkan cahaya ketika dialiri listrik. Layar OLED sering digunakan dalam perangkat seperti televisi dan *smartphone*.

Layar OLED sangat populer karena memiliki beberapa keunggulan. Salah satunya adalah kemampuannya dalam menghemat daya, yang menghasilkan warna hitam yang lebih dalam dan pekat. Dengan kata lain, layar OLED tidak memerlukan pencahayaan latar belakang untuk menampilkan gambar pada layarnya (Khoerun and Udhiarto, 2019).

OLED adalah *driver* CMOS OLED *chip* tunggal dengan pengontrol untuk sistem tampilan grafis dot-matrix dioda pemancar cahaya organik/polimer. Terdiri dari 128 segmen dan 64 *commons* (Datasheet, 2023). Diagram *pinout* OLED ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



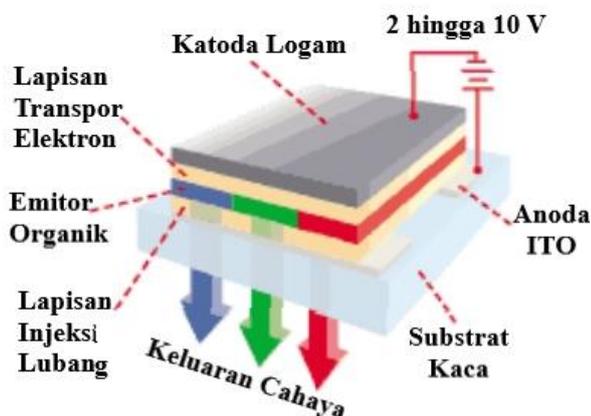
Gambar 2.10 Diagram pinout OLED (Fuller, 2022).

Gambar 2.10 menunjukkan diagram *pinout* OLED. OLED dibuat dengan 4 pin, pin GND yang terhubung dengan ground, pin VCC merupakan pin daya tunggal untuk semua *input* daya, pin *Serial Clock Line* (SCL) digunakan untuk melakukan sinyal jam yang sama untuk mikrokontroler dengan OLED, dan pin *Serial Data Line* (SDA) digunakan untuk menerima data dari perangkat pengendali.

Lapisan dalam OLED biasanya sangat tipis, dan total ketebalan perangkat keseluruhan kurang dari 1 μm . Oleh karena itu, OLED sangat cocok untuk aplikasi tampilan yang fleksibel. Namun, untuk bahan organik intrinsik, mobilitas pembawa rendah kurang dari $0,1 \text{ cm}^2 \text{ Vs}^{-1}$ dan konsentrasi pembawa bebas sekitar 10^{10} cm^{-3} yang dapat mengurangi efisiensi perangkat. Karena itu, teknologi doping sering digunakan. Selain itu, untuk menghasilkan cahaya putih, ada dua konfigurasi yang

umum dipertimbangkan, yaitu OLED dengan pola warna *Red, Green, and Blue* (RGB) atau OLED putih dengan penggunaan filter warna RGB. Kedua konfigurasi ini memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Secara umum, OLED RGB digunakan pada layar ponsel berukuran kecil (Chen *et al.*, 2018).

OLED adalah perangkat multilayer film tipis yang terdiri dari *foil substrat*, film atau pelat, lapisan elektroda, lapisan bahan aktif, penghitung lapisan elektroda, dan lapisan penghalang pelindung. Setidaknya salah satu dari elektroda harus transparan terhadap cahaya. Struktur tipikal perangkat OLED ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.

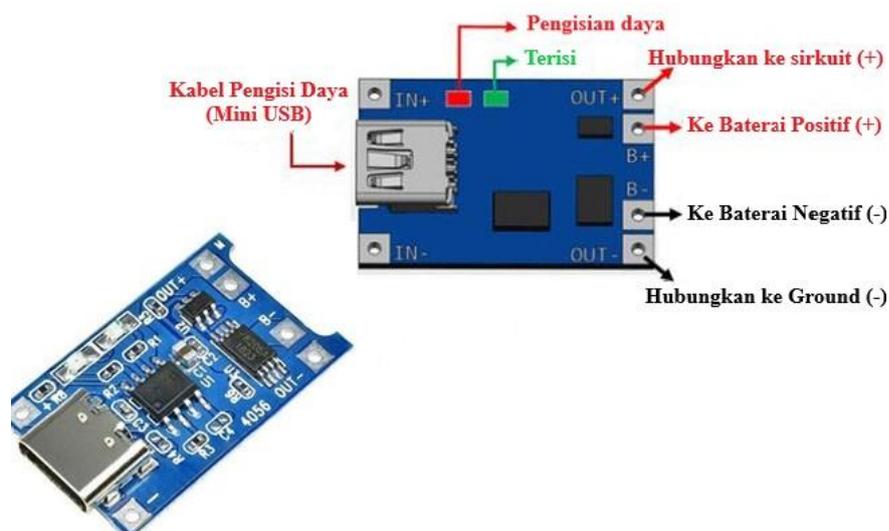


Gambar 2.11 Struktur tipikal perangkat OLED (Patel *and* Prajapati, 2014).

OLED dapat dibuat dengan menggunakan polimer atau molekul kecil pada panel datar, berbeda dengan teknologi LCD tradisional. OLED dapat menghasilkan cahaya sendiri tanpa memerlukan lampu latar tambahan, menghilangkan kebutuhan akan lampu merkuri yang besar dan berdampak negatif pada lingkungan. Hasilnya adalah tampilan yang lebih tipis dan ringkas. Selain itu, OLED memiliki sudut pandang yang luas, bahkan dalam kondisi cahaya terang. Selain itu, OLED memiliki konsumsi daya yang rendah, hanya memerlukan 2-10 V, yang menjadikannya efisien dan membantu mengurangi panas serta gangguan listrik pada perangkat elektronik. Teknologi OLED ini juga lebih ekonomis, menghasilkan gambar yang lebih tajam, dan memiliki fleksibilitas yang tinggi.

2.2.7 Modul TP4056

TP4056 adalah pengisi daya linier arus/tegangan konstan yang lengkap untuk baterai *lithium-ion* sel tunggal. Dengan paket *Small Outline Package* (SOP) dan jumlah komponen eksternal yang rendah, TP4056 sangat sesuai untuk aplikasi portabel. Selain itu, TP4056 dapat beroperasi melalui USB dan adaptor dinding. Untuk mengatur suhu selama operasi daya tinggi atau suhu sekitar yang tinggi, TP4056 memiliki umpan balik termal yang mengatur arus pengisian daya. Tegangan muatan ditetapkan pada 4,2 V dan arus pengisian daya dapat diprogram secara eksternal dengan satu resistor. TP4056 akan secara otomatis menghentikan siklus pengisian ketika arus pengisian turun menjadi 1/10 dari nilai yang diprogram setelah mencapai tegangan *float* akhir. Fitur lain dari TP4056 meliputi pemantauan saat ini, penguncian di bawah tegangan, pengisian ulang otomatis, serta dua pin status yang menunjukkan penghentian pengisian daya dan adanya tegangan *input* (Datasheet, 2023). Diagram *pinout* modul TP4056 ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Diagram pinout modul TP4056 (Tessie, 2021).

Gambar 2.12 menunjukkan diagram piout modul TP4056. Modul TP4056 terdiri dari pin OUT+ digunakan untuk mengeluarkan tegangan positif dari baterai, pin OUT- digunakan untuk mengeluarkan tegangan negatif dari baterai, pin B+ digunakan untuk mengeluarkan tegangan positif dari kabel USB untuk mengisi daya baterai, pin B- digunakan untuk mengeluarkan tegangan negatif dari kabel

USB untuk mengisi daya baterai, pin IN+ menyediakan +5V dapat digunakan jika kabel pengisian daya tidak tersedia dan pin IN- menyediakan GND dapat digunakan jika kabel pengisian daya tidak tersedia.

2.2.8 *Software Matrix Laboratory (Matlab)*

Matlab merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman analisis, serta komputasi teknis dan matematis berbasis matriks. Matlab adalah singkatan dari *Matrix Laboratory* karena mampu menyelesaikan masalah perhitungan dalam bentuk matriks. Matlab versi pertama dirilis pada tahun 1970 oleh Cleve Moler. Pada awalnya Matlab di desain untuk menyelesaikan masalah-masalah aljabar linear. Seiring berjalannya waktu, program ini terus mengalami perkembangan dari segi fungsi dan performa komputasi (Tjongleng, 2017).

Skrip dalam Matlab merupakan jenis program yang paling sederhana, dengan ekstensi .m. Skrip ini memungkinkan penulisan serangkaian perintah dan pemanggilan fungsi-fungsi dari file teks biasa, serta menjalankannya sebagai satu kesatuan (Kaveh *and* Bakhshpoori, 2019). Matlab memiliki dukungan untuk berbagai format gambar seperti *Graphics Interchange Format (GIF)*, *Joint Photographic Experts Group (JPG)*, *Tagged Image File Format (TIFF)*, *Portable Network Graphics (PNG)*, *Hierarchical Data Format (HDF)*, *Flexible Image Transport System (FITS)*, dan *Bitmap Image File (BMP)* (Paluszek *and* Thomas, 2019).

Sebuah GUI berbasis telah dikembangkan untuk secara cepat membuat lima diagram hidrogeokimia umum. Dengan struktur yang sederhana, pengoperasian yang mudah, dan keandalan yang tinggi, antarmuka ini menghemat banyak waktu bagi pengguna dalam pembuatan diagram-diagram tersebut. Selain itu, semua kode antarmuka dan fungsi yang termasuk dapat diakses sebagai sumber terbuka dan dapat disesuaikan oleh pengguna (He dan Li, 2020). Untuk menyelesaikan permasalahan program linear, aplikasi Matlab dapat digunakan untuk memberikan perhitungan yang lebih sederhana, tepat, efektif, dan efisien bagi pengguna aplikasi (Febrianti *et al.*, 2021).

2.2.9 Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

JST pada dasarnya adalah program komputer yang dirancang berdasarkan prinsip kerja jaringan biologi otak manusia. Dari segi struktur desain JST adalah suatu perangkat perhitungan yang dirancang untuk meniru aktivitas yang terjadi dalam jaringan biologi otak manusia (Permatasari *et al.*, 2019). JST dapat dijelaskan sebagai model matematis dan komputasi yang digunakan untuk melakukan aproksimasi nonlinear, klasifikasi data, pengelompokan data, serta regresi non-parametrik (Kristanto, 2004).

Secara umum arsitektur jaringan dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

- a) *Single-Layer Feedforward Networks*: JST berlapis adalah jaringan *neuron* yang diorganisasikan dalam bentuk lapisan-lapisan. Hanya terdapat *input layer* dengan *node* sumber yang terproyeksi kedalam *output layer* dari *neuron*, tetapi tidak sebaliknya.
- b) *Multi Layer FeedForward Networks*: Kelas kedua dari *feedforward neural networks* adalah jaringan dengan satu atau lebih lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dengan *computation nodes* yang berhubungan disebut *hidden neurons* atau *hidden units*.
- c) *Recurrent Networks*: Jaringan yang mempunyai minimal satu *feedback loop*.
- d) *Lattice Structure*: Sebuah *lattice* (kisi-kisi) terdiri dari satu atau beberapa larik saraf dimensional dan satu set *node* sumber yang sesuai untuk memberikan sinyal masukan ke larik. Dimensi *lattice* mengacu pada jumlah dimensi ruang dimana *graph* berada (Sovia, 2019).

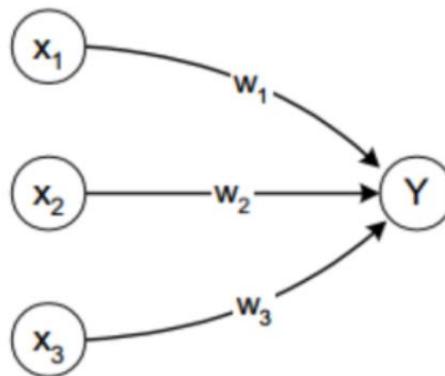
JST *backpropagation* pertama kali diusulkan oleh Rumelhart, Hinton dan William pada tahun 1986, kemudian dikembangkan oleh Rumelhart dan Mc Clelland pada tahun 1988. Algoritma tersebut termasuk dalam *supervised learning*, dan fitur dari metode ini adalah meminimalkan kesalahan pada keluaran yang dihasilkan oleh jaringan. Algoritma propagasi balik jaringan saraf biasanya diterapkan ke jaringan *multilayer* (Sakinah *et al.*, 2018).

Istilah-istilah yang umum digunakan dalam JST yaitu (Hermawan, 2006):

- a. Bobot: nilai matematis yang mewakili kekuatan koneksi antara *neuron*.
- b. Fungsi aktivasi: fungsi yang menentukan nilai keluaran dari suatu *neuron*.
- c. Fungsi aktivasi sederhana: digunakan untuk mengalikan input dengan bobotnya, kemudian menjumlahkannya, dan dapat berbentuk linier atau tidak linier, seperti fungsi *sigmoid*.
- d. *Input*: nilai yang masuk ke dalam jaringan untuk diproses menjadi keluaran.
- e. *Output*: hasil dari pemrosesan nilai *input*.
- f. Lapisan Tersembunyi (*hidden layer*): lapisan dalam jaringan syaraf tiruan yang tidak berinteraksi langsung dengan luar. Lapisan ini digunakan untuk mengatasi masalah-masalah yang kompleks.
- g. *Neuron* atau *Node*: unit pengolahan dalam JST yang menerima *input*, melakukan proses, dan menghasilkan *output*.

Menurut Siang (2005) ada tiga faktor utama yang menentukan JST:

1. Pola hubungan antar *neuron* adalah pola yang merujuk pada pola koneksi antara *neuron-neuron* dalam jaringan. Arsitektur jaringan ini mengatur bagaimana informasi akan mengalir melalui jaringan.
2. Metode penentuan bobot penghubung adalah metode yang mencakup cara bobot koneksi antar neuron ditentukan atau disesuaikan selama proses pembelajaran jaringan. Metode ini berpengaruh pada sejauh mana jaringan dapat mempelajari dan mengadaptasi diri terhadap data.
3. Fungsi aktivasi adalah fungsi yang digunakan untuk menentukan bagaimana sinyal atau impuls yang diterima oleh suatu neuron akan diubah menjadi keluaran. Fungsi aktivasi ini dapat berupa fungsi matematis tertentu yang dapat berbentuk linier atau tidak linier. Sebagai contoh *neuron* Y ditunjukkan pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 JST Sederhana (Siang, 2005).

Neuron Y menerima *input* dari tiga *neuron* lain, yaitu x_1 , x_2 , dan x_3 dengan bobot hubungan masing-masing adalah w_1 , w_2 , dan w_3 . Impuls dari ketiga *neuron* input ini dijumlahkan dengan **Persamaan (2.1)**.

$$\text{Net} = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + x_3 \cdot w_3 \quad (2.1)$$

Besarnya *impuls* yang diterima oleh *neuron* Y kemudian diolah melalui fungsi aktivasi $y = f(\text{net})$. Jika nilai fungsi aktivasi mencapai ambang tertentu, sinyal akan diteruskan. Selain itu, nilai keluaran dari fungsi aktivasi ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk mengubah bobot koneksi antar *neuron* dalam jaringan saat proses pembelajaran.

Penentuan jumlah *neuron hidden layer* (m) pada JST ini yang mengacu pada teknik *Hidden Multi Layer Perceptrons* (HMLP). Metode ini memiliki 3 buah pendekatan yaitu sebagai berikut (Sundaram and Karthigai, 2019).

1. Pendekatan 1

Jumlah total *neuron hidden layer* sama dengan jumlah keseluruhan *neuron input layer*. Pendekatan 1 dihitung berdasarkan **Persamaan (2.2)**.

$$Z = X \quad (2.2)$$

2. Pendekatan 2

Jumlah total *neuron hidden layer* sama dengan jumlah total *neuron output layer*. Pendekatan 2 dihitung berdasarkan **Persamaan (2.3)**.

$$Z = Y \quad (2.3)$$

3. Pendekatan 3

Jumlah total *neuron hidden layer* sama dengan jumlah *neuron layer input* ditambah dengan *neuron output layer*. Pendekatan 3 dihitung berdasarkan **Persamaan (2.4)**.

$$Z = X + Y \quad (2.4)$$

Evaluasi kinerja JST dilakukan menggunakan *confiasion matrix*. *Confusion matrix* merepresentasikan hasil prediksi dan kondisi sebenarnya dari data yang dihasilkan oleh JST, berdasarkan matriks kebingungan akan diketahui nilai *True Negative (IN)*, *True Positive (TP)*, *False Negative (FN)*, *False Positive (FP)* sehingga dapat diperoleh nilai parameter parameter yang menggambarkan kinerja JST. Berikut adalah parameter-parameter yang dapat digunakan untuk meningkatkan performa JST (Mazen and Nashat, 2019).

1. Akurasi

Akurasi merupakan rasio prediksi benar (*TN*) dan (*TP*) terhadap total data. Akurasi dihitung menggunakan **Persamaan (2.5)**.

$$AC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (2.5)$$

2. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan rasio prediksi benar positif (*TP*) terhadap data benar positif (*TP*) dan salah negatif (*FN*). Sensitivitas dihitung menggunakan **Persamaan (2.6)**.

$$SN = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (2.6)$$

3. Spesifisitas

Spesifisitas merupakan rasio prediksi benar negatif (*TN*) terhadap data benar negatif (*TN*) dan salah positif (*FP*). Spesifisitas dihitung menggunakan **Persamaan (2.7)**.

$$SP = \frac{TN}{TN + FP} \times 100\% \quad (2.7)$$

4. Presisi

Presisi merupakan rasio prediksi benar positif (*TP*) terhadap data benar positif (*TP*) dan salah positif (*FP*). Presisi dihitung menggunakan **Persamaan (2.8)**.

$$PR = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (2.8)$$

5. Prediksi Negatif

Prediksi negatif merupakan rasio prediksi benar negatif (*TN*) terhadap data benar negatif (*TP*) dan salah negatif (*FN*). Presisi dihitung menggunakan **Persamaan (2.9)**.

$$PN = \frac{TN}{TN + FN} \times 100\% \quad (2.9)$$

dengan *AC* adalah akurasi, *SN* adalah sensitivitas, *SP* adalah spesifisitas, *PR* adalah presisi, *PN* adalah prediksi negative, *TP* (*True Positive*) adalah jumlah prediksi yang benar dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji, *TN* (*True Negative*) adalah jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji, *FP* (*False Positive*) adalah jumlah prediksi yang bernilai benar dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji dan *FN* (*False Negative*) adalah jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji

2.2.10 Metode *Backpropagation*

JST Backpropagation melibatkan dua tahap utama yang harus dilalui, yakni tahap perambatan maju dan tahap perambatan mundur. Perambatan maju bertujuan untuk menghasilkan output dari *JST*, sementara perambatan mundur berfokus pada pembaruan nilai bobot *w* dan *v*. Algoritma *JST backpropagation* beroperasi dengan cara mengenali pola data berdasarkan sejarah data sebelumnya (Wadi, 2021).

Secara garis besar pelatihan jaringan dengan metode *backpropagation* meliputi tiga tahapan.

a. Tahap maju (*feedforward*)

Tahap *feedforward* adalah proses pengolahan pola input training pada *input layer* hingga respon yang dihasilkan mencapai *output layer*.

b. Tahap perhitungan *error* propagasi balik

Jika kriteria untuk kondisi berhenti tidak terpenuhi, masuk ke tahap ketiga. Namun, jika kondisi berhenti terpenuhi, proses penghitungan berhenti.

c. Tahap pembaharuan bobot dan bias

Jika keluaran yang diharapkan tidak sesuai, ini akan terjadi, dan kemudian jaringan akan mundur (*backward*) dari lapisan keluaran ke lapisan masukan dan akan memperbarui bobot dan mengulangi proses dari tahap 1 (Satria, 2018).

Tujuan dari metode ini adalah untuk mencapai keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan dalam proses pelatihan dan kemampuan jaringan untuk merespon dengan benar pola masukan yang berbeda dari pola masukan pelatihan (Wijaya, 2019). Arsitektur *backpropagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang didefinisikan, seperti sigmoid menggunakan **Persamaan (2.10)**.

$$y = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (2.10)$$

(Ritonga and Atmojo, 2018).

Algoritma pelatihan menggunakan metode propagasi mundur muncul pada tahun 1969. Metode propagasi balik JST memperkenalkan jaringan *multilayer*, yaitu:

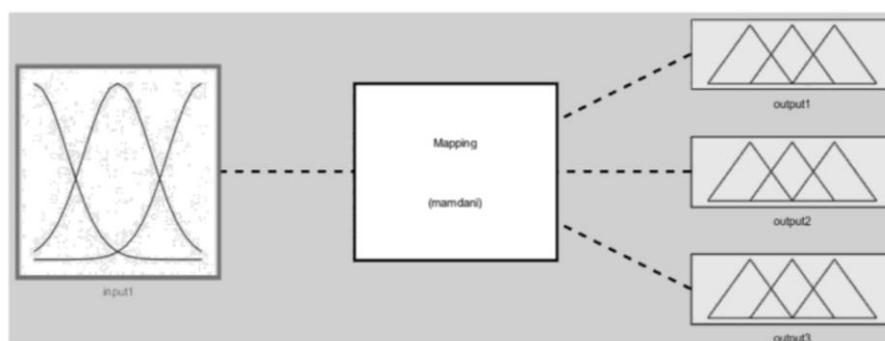
- a) nilai dikirim melalui lapisan masukan ke lapisan tersembunyi diteruskan ke lapisan keluaran;
- b) bandingkan output aktual dengan output yang diharapkan, jika terdapat perbedaan ditunjukkan sebagai kesalahan;
- c) kemudian mengirimkan *error* dari *output layer* kebelakang ke *hidden layer*, lalu meneruskan ke *input layer* (Kurniawan, 2018).

2.2.11 Logika Fuzzy

Dalam ilmu kecerdasan buatan, logika fuzzy merupakan elemen kunci dalam teknik penyelesaian masalah *reasoning* atau penalaran. Teknik ini menggambarkan masalah dalam basis pengetahuan menggunakan logika, dan logika fuzzy hadir

sebagai hasil pengembangan teori himpunan fuzzy untuk menangani masalah dengan ketidakpastian (Nur *et al.*, 2021). Logika fuzzy memperkenalkan konsep tingkat kebenaran. Dengan logika fuzzy, nilai keanggotaan dapat berada dalam rentang antara 0 dan 1, menciptakan tingkat keabuan yang mencakup area antara hitam dan putih. Dalam konteks linguistik, Logika fuzzy memungkinkan representasi konsep yang tidak pasti, seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat" (Ratama *and* Munawaroh, 2019).

Secara keseluruhan, logika fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan, terutama dalam logika yang menghadapi masalah-masalah sulit didefinisikan dengan model matematis. Misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya. Tampilan fuzzy untuk memetakan *input* menjadi *output* ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.



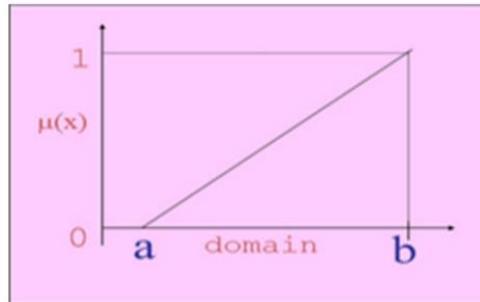
Gambar 2.14 Fuzzy untuk memetakan *input* menjadi *output* (Hakim *et al.*, 2021).

Dalam situasi di mana nilai masukan dan parameter sistem tidak akurat atau tidak jelas, logika fuzzy sangat membantu karena membuat model matematikanya sulit untuk didefinisikan. Logika fuzzy memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan logika tradisional, seperti jumlah aturan yang dapat diterapkan.

Fungsi keanggotaan (*membership functions*) adalah suatu kurva yang memproyeksikan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (juga dikenal sebagai derajat keanggotaan) dengan interval dari 0 hingga 1. Beberapa fungsi keanggotaan yang paling umum digunakan di dunia nyata adalah sebagai berikut (Kusumadewi dan Purnomo, 2013):

a) Fungsi Linear Naik

Dalam representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya ditunjukkan sebagai garis lurus. Grafik dan notasi matematika dari fungsi linear naik ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.



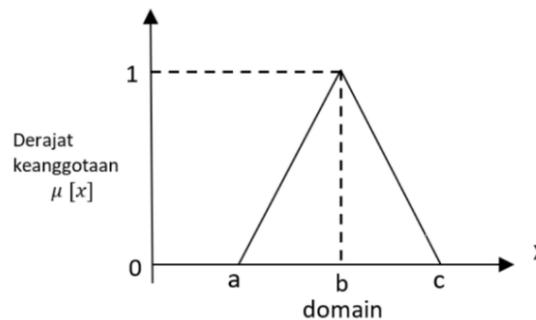
Gambar 2.15 Fungsi Linear (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & \rightarrow x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \rightarrow a \leq x \leq b \\ 1; & \rightarrow x \geq b \end{cases}$$

b) Fungsi Segitiga

Fungsi ini memiliki satu nilai x dengan derajat keanggotaan sama dengan 1, yaitu ketika $x = b$. Grafik dan notasi matematika dari fungsi segitiga seperti terlihat pada **Gambar 2.16**.



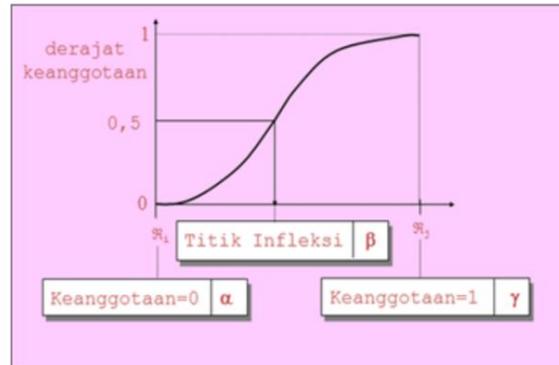
Gambar 2.16 Fungsi Segitiga (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases}$$

c) Fungsi S (*Sigmoid/Logistic*)

Fungsi ini adalah fungsi pertumbuhan dan penyusutan yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linier. Fungsi pertumbuhan bergerak dari sisi paling kiri dengan nilai keanggotaan = 0 ke sisi paling kanan dengan nilai keanggotaan = 1. Grafik dan notasi matematika dari fungsi S ditunjukkan pada **Gambar 2.17**.



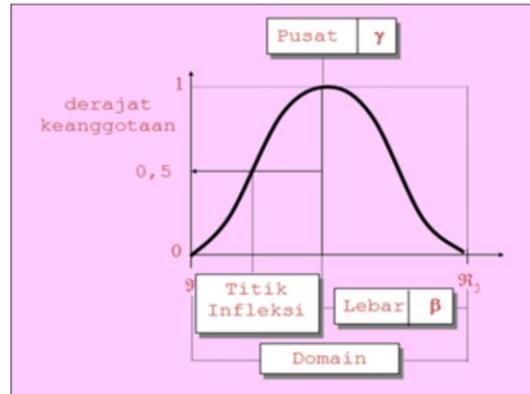
Gambar 2.17 Fungsi S (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq \alpha \\ \frac{2(x - \alpha)}{(\gamma - \alpha)^2}; & \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{1 - 2(\gamma - x)}{(\gamma - \alpha)^2}; & \beta \leq x \leq \gamma \end{cases}$$

d) Fungsi *phi*

Fungsi ini berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 dan memiliki domain (γ) dan lebar fungsi (β) di pusat. Grafik dan notasi matematika dari fungsi phi seperti terlihat pada **Gambar 2.18**.



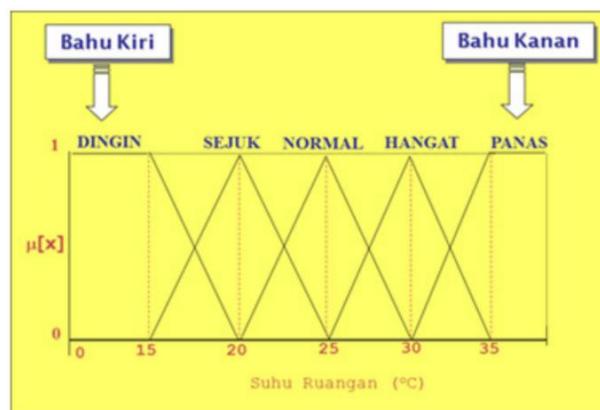
Gambar 2.18 Fungsi *Phi* (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

Fungsi keanggotaan:

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0; & x \leq \alpha \\ \frac{2(x - \alpha)}{(\gamma - \alpha)^2}; & \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{1 - 2(\gamma - x)}{(\gamma - \alpha)^2}; & \beta \leq x \leq \gamma \end{cases}$$

e) Fungsi Bentuk Bahu

Daerah kanan dan kiri variabel akan naik dan turun di tengah segitiga. Grafik dan notasi matematika dari fungsi bentuk bahu ditunjukkan pada **Gambar 2.19**.



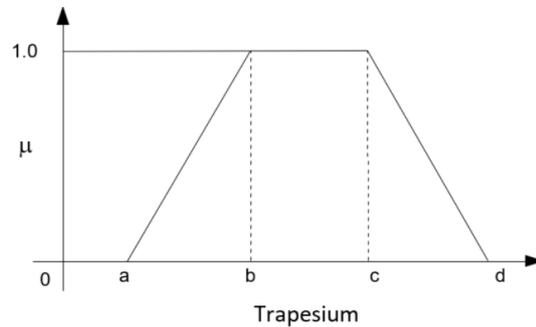
Gambar 2.19 Fungsi Bentuk Bahu (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

Fungsi keanggotaan:

$$\Pi(x, \beta, \gamma) = \begin{cases} S(x; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma) & x \leq \gamma \\ 1 - S(x; \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta, \gamma) & x > \gamma \end{cases}$$

f) Fungsi Trapesium

Dalam fungsi ini, beberapa nilai x memiliki derajat keanggotaan sama dengan 1, yaitu ketika $b \leq x \leq c$. Namun, derajat keanggotaan untuk nilai $a < x < b$ dan $c < x < d$ memiliki sifat yang sama dengan fungsi segitiga. Grafik dan notasi matematika dari fungsi trapesium seperti terlihat pada **Gambar 2.20**.



Gambar 2.20 Fungsi Trapesium (Kusumadewi dan Purnomo, 2013).

Fungsi keanggotaan:

$$\mu_{medium} = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x - a)}{(b - a)}; & a < x < b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{(d - x)}{(d - c)}; & c < x \leq d \end{cases}$$

Logika fuzzy digunakan untuk beberapa alasan yaitu (Yulmaini, 2018):

- 1) Konsep logika fuzzy sangat mudah dipahami dan dimengerti. Keunggulannya terletak pada pendekatan alaminya dalam memecahkan masalah.
- 2) Logika fuzzy sangat relevan dengan situasi sehari-hari karena memungkinkan toleransi terhadap data yang salah.
- 3) Logika fuzzy memiliki kemampuan untuk mensimulasikan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.
- 4) Logika fuzzy dapat membangun sebagian besar pengetahuan dan pengalaman para pakar, membuatnya lebih mudah digunakan untuk membangunnya.
- 5) Logika fuzzy berasal dari bahasa alami atau bahasa manusia.

2.2.12 *Principal Component Analysis (PCA)*

PCA adalah alat tradisional tanpa pengawasan yang banyak digunakan untuk mengurangi ukuran kumpulan data secara linier. Data berdimensi tinggi direpresentasikan dalam subruang berdimensi rendah baru, yang direntangkan oleh komponen utama dari varian terbesar dalam variabel asli. PCA banyak digunakan dalam aplikasi *e-nose* (Karakaya *et al.*, 2020). Tujuan PCA adalah untuk menjelaskan bagian dari variasi dalam kumpulan variabel yang diamati atas dasar beberapa dimensi. Tujuan khusus PCA yaitu untuk meringkas pola korelasi antar variabel yang diobservasi, mereduksi sejumlah besar variabel menjadi sejumlah kecil faktor, memberikan sebuah definisi operasional sebuah persamaan regresi dimensi pokok penggunaan variabel yang diobservasi serta menguji teori yang mendasarinya (Hakim *et al.*, 2018).

Prosedur PCA pada dasarnya adalah bertujuan untuk menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara mereduksi dimensinya. Hal ini dilakukan dengan cara menghilangkan korelasi diantara variabel prediktor melalui transformasi variabel prediktor asal ke variabel baru yang tidak berkorelasi sama sekali (Mayapada *et al.*, 2018). Manfaat utama PCA adalah efisiensi dalam pengamatan visual citra, serta efisiensi proses klasifikasi multispektral (Muna *et al.*, 2020).

Teknik PCA mereduksi atau mengurangi informasi data yang besar dari sebuah citra telapak tangan tanpa menghilangkan informasi yang ada pada sebuah citra telapak tangan. Penyusunan algoritma PCA yaitu:

- a) pertama, pencarian nilai eigen terlebih dahulu perlu melakukan perhitungan nilai rata-rata dari sebuah citra;
- b) kedua, menghitung matriks normalisasi;
- c) ketiga, adalah proses mencari nilai dari matriks kovarian citra;
- d) langkah keempat mengurutkan nilai *eigen value* (D) dan *eigen vector* (V) dari besar ke kecil berdasarkan urutan nilai eigen. Kemudian hitung nilai matriks *eigenface*;
- e) langkah kelima hitung *project image* dari citra (Fadillah *et al.*, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2023 sampai dengan bulan Juni 2024 bertempat di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Electronic Nose G2* digunakan untuk mengolah data JST dan membandingkan data.
2. Solder digunakan untuk menghubungkan kaki antar komponen.
3. PC//Komputer digunakan untuk akuisisi data dan pengelolaan sinyal input dari Arduino Nano untuk mendapatkan data yang dibutuhkan.
4. *Software Matlab R2013a* digunakan untuk menghitung, mengelola dan menganalisa karakteristik gas dari kelapa pandan wangi. Selain itu, *software Matlab* juga digunakan untuk merancang JST dan logika fuzzy untuk mengidentifikasi kelapa pandan wangi.

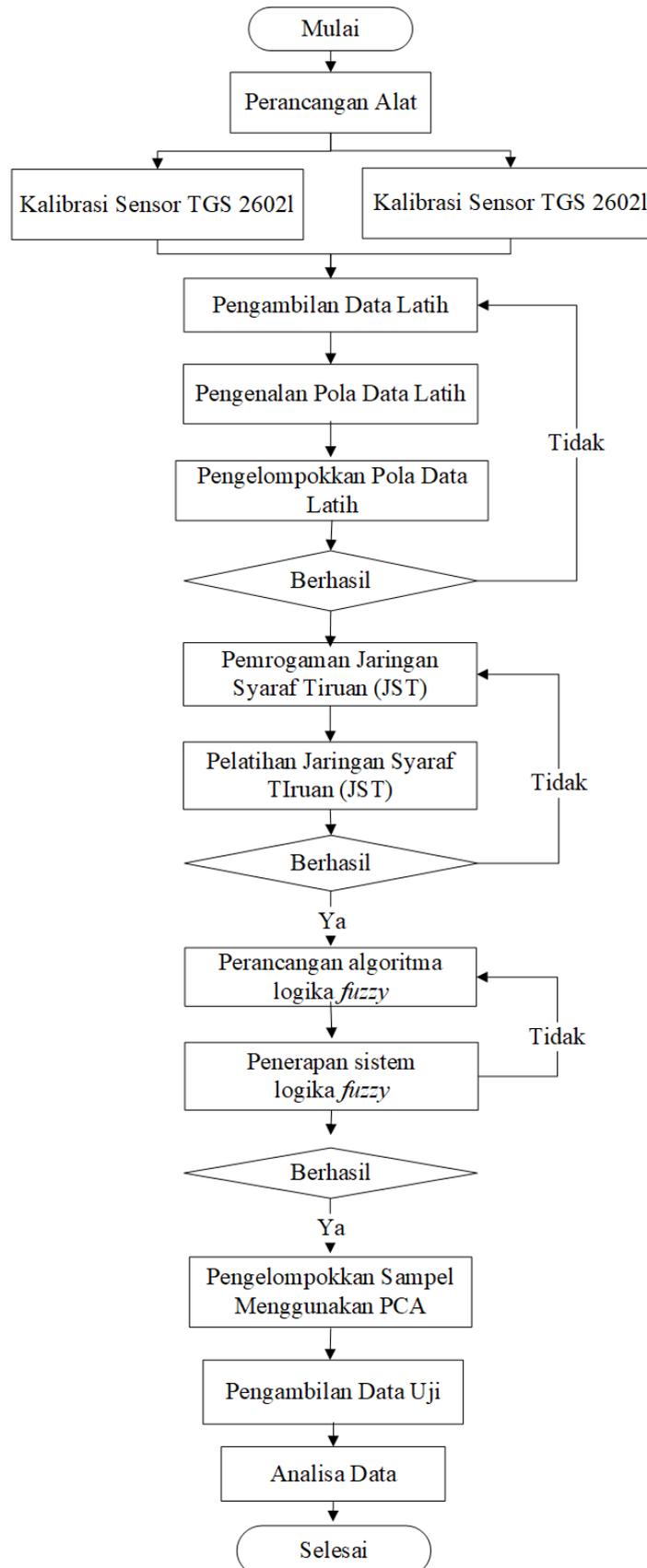
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kelapa pandan wangi digunakan sebagai sampel
2. Timah digunakan sebagai alat yang untuk menyambungkan antara dua buah komponen yaitu komponen perekat elektronika.
3. Sensor TGS-2602 digunakan untuk mendeteksi gas VOC, amonia, dan H₂S

4. Sensor TGS-2600 digunakan untuk mendeteksi gas karbon monoksida dengan sensitivitas tinggi
5. Arduino Nano V3 digunakan sebagai mikrokontroler yang mengendalikan OLED dan pompa serta mengolah *output* dari sensor gas.
6. OLED 0,96" I2C digunakan untuk menampilkan hasil analisis gas yang terdeteksi sensor gas.
7. Baterai *lithium* 5V digunakan sebagai sumber tegangan.
8. Modul TP4056 digunakan untuk mencharger baterai.
9. *Power supplay* 5V digunakan sebagai sumber tegangan untuk charger.
10. *Jumper* digunakan untuk menghubungkan komponen elektronika pada *e-nose*.

3.3 Prosedur Penelitian

Secara umum, prosedur yang dilakukan pada penelitian ini diperlihatkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 3.1**.

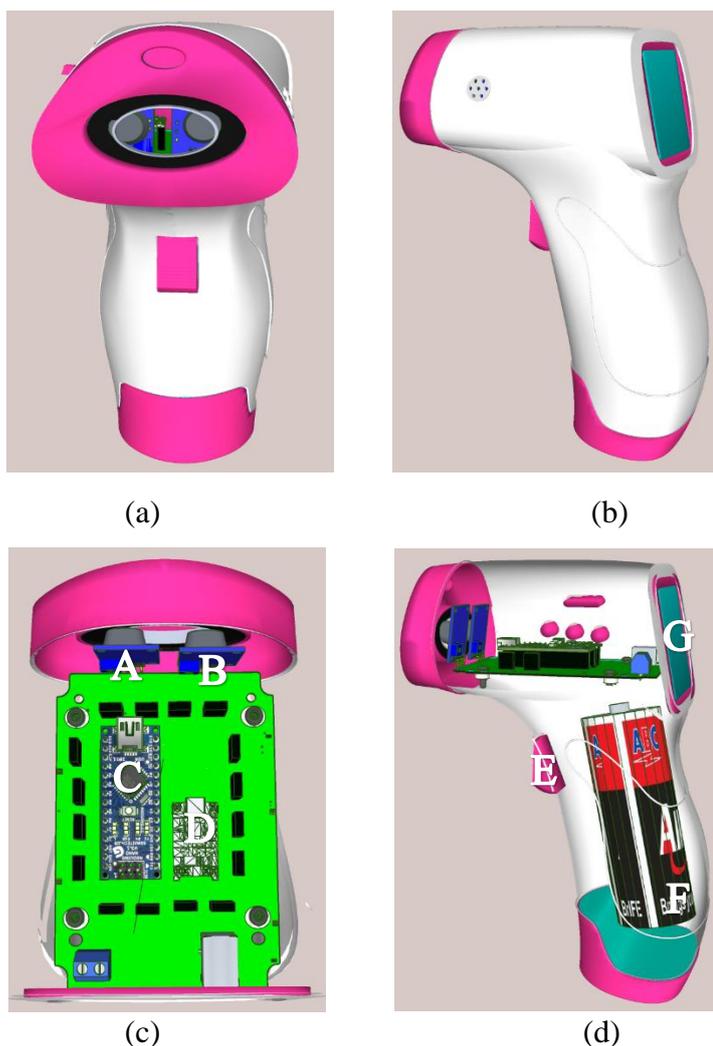


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Dalam rangka mencapai tujuan dari penelitian ini, prosedur penelitian yang telah dirumuskan dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

3.3.1 Tahap Perancangan Sistem *E-nose*

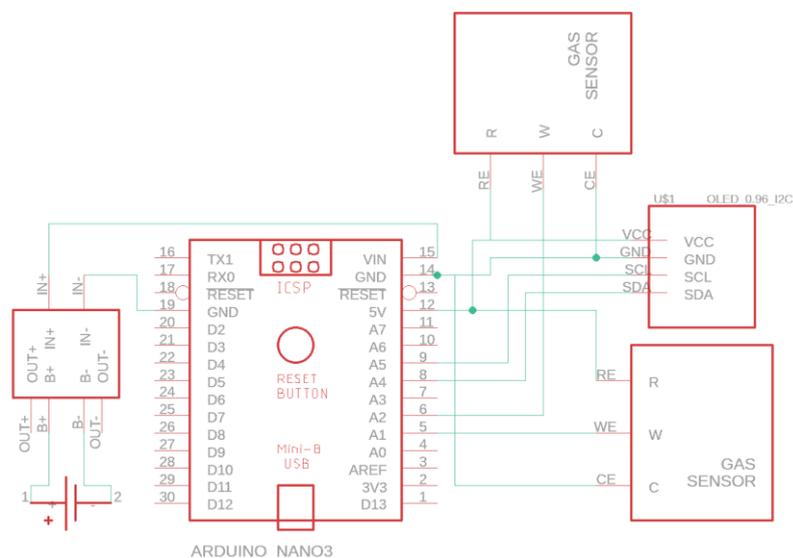
Tahap perancangan sistem *e-nose* dilakukan untuk merancang perangkat *hardware e-nose*. Sensor gas yang digunakan adalah sensor TGS-2602 dan TGS-3600. Desain sistem *e-nose portable* 3 dimensi ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Desain *e-nose portable* 3 dimensi (a) tampak luar depan, (b) tampak luar samping, (c) tampak dalam atas dan (d) tampak dalam samping.

dengan A adalah sensor TGS-2602, B adalah sensor TGS-2600, C adalah Arduino Nano, D adalah modul TP4056, E adalah tombol *on/off*, F adalah baterai *lithium* dan G adalah LCD OLED 0,96 inci.

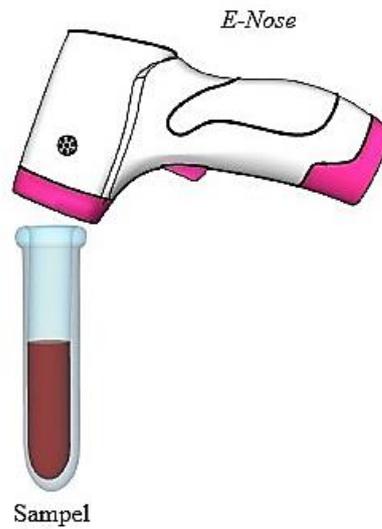
Fungsi dari *port serial* adalah sebagai *port* untuk melakukan pengiriman data hasil deteksi sensor menggunakan komunikasi serial Arduino Nano. Baterai digunakan sebagai sumber tegangan. Modul TP4056 digunakan untuk sebagai *charger* baterai. Tombol *on/off* digunakan untuk menghidupkan dan mematikan *e-nose*. Rangkaian keseluruhan *e-nose portable* yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Rangkaian keseluruhan *e-nose portable*.

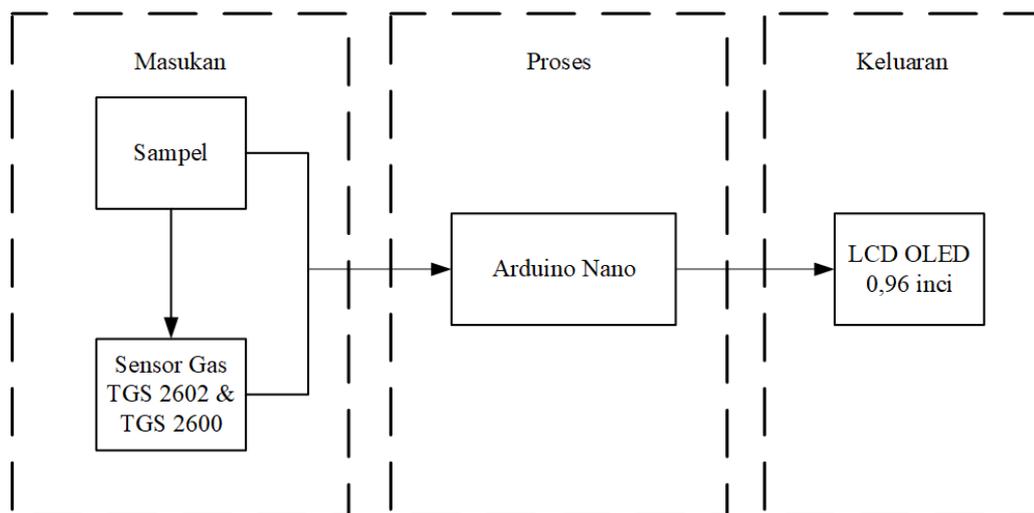
Pin AOOUT sensor TGS-2602 dihubungkan dengan pin analog Arduino Nano yaitu A1. Kemudian pin VCC pada sensor dihubungkan dengan pin 5 V Arduino Nano. Selanjutnya pin GND dihubungkan dengan pin GND Arduino Nano. Untuk Pin AOOUT sensor TGS-2600 dihubungkan dengan pin analog Arduino Nano yaitu A2. Kemudian pin VCC pada sensor dihubungkan dengan pin 5 V Arduino Nano. Selanjutnya pin GND dihubungkan dengan pin GND Arduino Nano. Pin SDA LCD OLED dihubungkan dengan pin analog Arduino Nano yaitu A4. Sedangkan pin SCL LCD OLED dihubungkan dengan pin analog Arduino Nano yaitu A5. Kemudian pin VCC pada LCD OLED dihubungkan dengan pin 5 V Arduino Nano. Selanjutnya pin GND dihubungkan dengan pin GND Arduino Nano. Pin IN+ modul TP4056 dihubungkan dengan pin VIN Arduino. Sedangkan pin IN- modul TP4056 dihubungkan dengan GND Arduino. Kemudian pin B+ pada modul TP4056 dihubungkan dengan pin +baterai. Selanjutnya pin B- pada modul TP4056 dihubungkan dengan pin -baterai. Berikut ini merupakan skema rancangan

pengambilan data menggunakan *e-nose* yang akan digunakan untuk kelapa pandan wangi yang diperlihatkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Skema rancangan pengambilan data menggunakan *e-nose*.

Sedangkan diagram blok sistem *e-nose* yang akan digunakan untuk pengambilan data yang diperlihatkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Diagram blok sistem *e-nose*.

Gas masukan berupa gas dari sampel yang akan dideteksi oleh *e-nose*. Perubahan tegangan yang dihasilkan oleh sensor gas yang terdapat pada *e-nose* akan dikirim ke LCD oled 0,96 inci.

3.3.2 Pengenalan Pola Data Latih

Tahap ini dilakukan dengan cara memplot grafik dari data latih berdasarkan kepekaan masing-masing sensor terhadap gas yang dideteksi.

3.3.3 Tahap Pengambilan Data Latih

Tahap pengambilan data latih dilakukan dengan memasukkan gas sampel pada *e-nose* G2 untuk mendapatkan data latih perubahan tegangan yang dihasilkan oleh sensor gas. Data latih sampel yang diperoleh ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Data latih sampel.

No.	Sampel	Uji ke	Sensor (mV)								
			MQ2	MQ3	MQ5	MQ6	MQ7	MQ9	MQ135	TGS2600	TGS2602
1	Pandan Wangi	1									
		2									
		...									
		20									
2	Non Pandan Wangi	1									
		2									
		...									
		20									

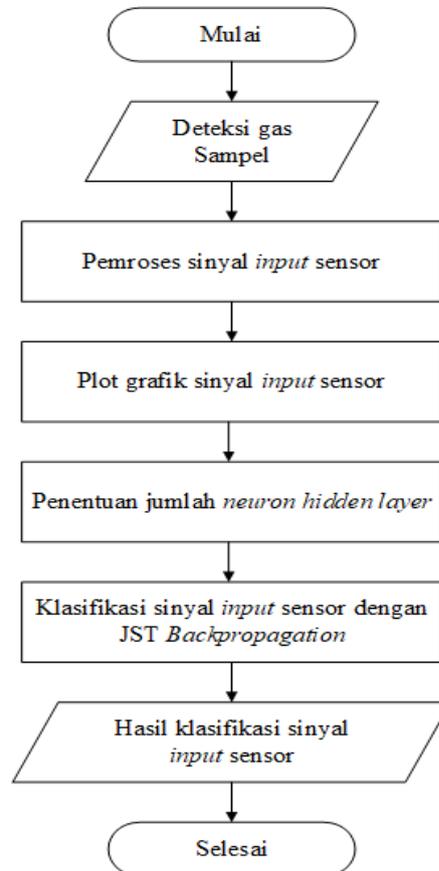
3.3.4 Pengelompokkan Pola Data Latih

Tahap ini, dilakukan dengan cara mengamati apakah sensor dapat membedakan gas masing-masing sampel dari data latih yang diperoleh dan mampu mengelompokkan sesuai jenisnya menggunakan *microsoft excel*.

3.3.5 Perancangan JST

Tahap perancangan JST dilakukan dengan membuat JST menggunakan *software* Matlab R2013a dan metode *backpropagation*. JST ini akan digunakan untuk

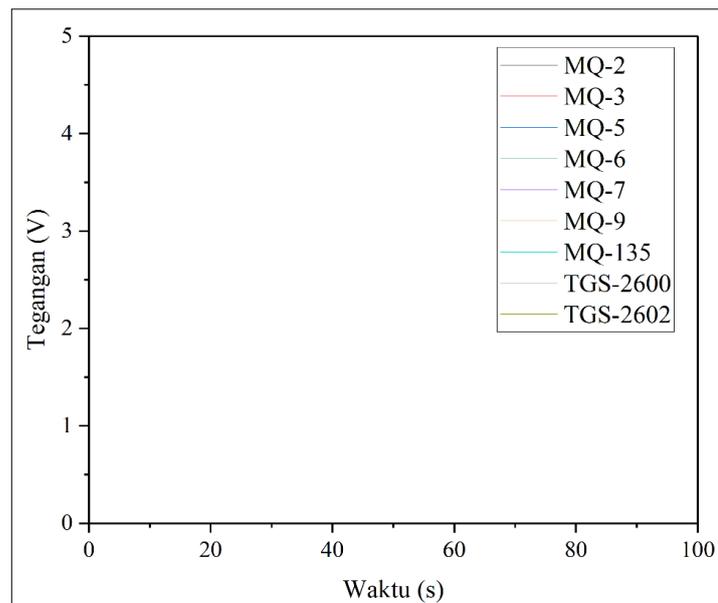
mengidentifikasi kelapa pandan wangi. Adapun alur perancangan JST dilakukan pada penelitian ini diperlihatkan dalam diagram alir perancangan JST pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Diagram alir perancangan JST.

Tahap deteksi sampel gas adalah tahap deteksi dari rangkaian sensor untuk mendeteksi gas yang memasuki *chamber*. Sinyal yang diperoleh dari sensor dikirim ke PC menggunakan komunikasi serial. Kemudian simpan sinyal dalam format dengan *extension* "**.mat*". Tahap pengolahan sinyal input dari sensor merupakan proses mengubah sinyal analog yang dikirim oleh sensor ke NodeMCU ESP 32 menjadi data digital. Gunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) pada Arduino untuk konversi analog ke digital. Hal tersebut dilakukan karena sinyal yang dikirim oleh sensor masih berupa sinyal analog. Tahap plot grafik sinyal *input* larik sensor adalah proses *plotting* data yang disediakan oleh lima larik sensor. Proses *plotting* dilakukan secara *realtime* sehingga proses pengambilan data dapat langsung diamati. Untuk menampilkan grafik secara *realtime*, *software* Matlab digunakan

sebagai *interface* yang ditunjukkan melalui grafik respon dari sensor pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Grafik respon sensor.

Tahap penentuan jumlah *neuron hidden layer* (m) pada JST ini yang mengacu pada teknik *Hidden Multi Layer Perceptrons* (HMLP) sesuai dengan **Persamaan 2.1-Persamaan 2.3**. Keseluruhan jumlah *neuron hidden layer* (m) yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

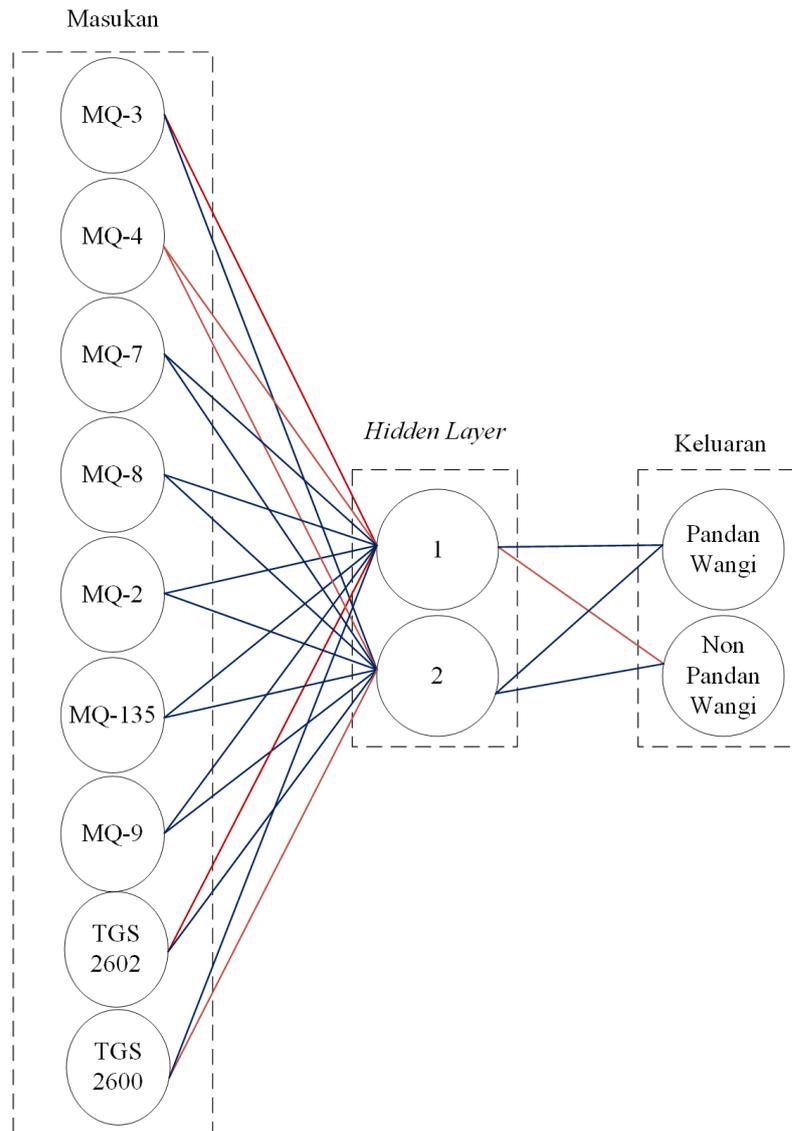
Tabel 3.2 Jumlah *neuron hidden layer* (m) berdasarkan metode HMLP

Pendekatan	Jumlah <i>neuron hidden layer</i> (m)
Pendekatan 1	9
Pendekatan 2	2
Pendekatan 3	11

3.3.6 Pelatihan JST

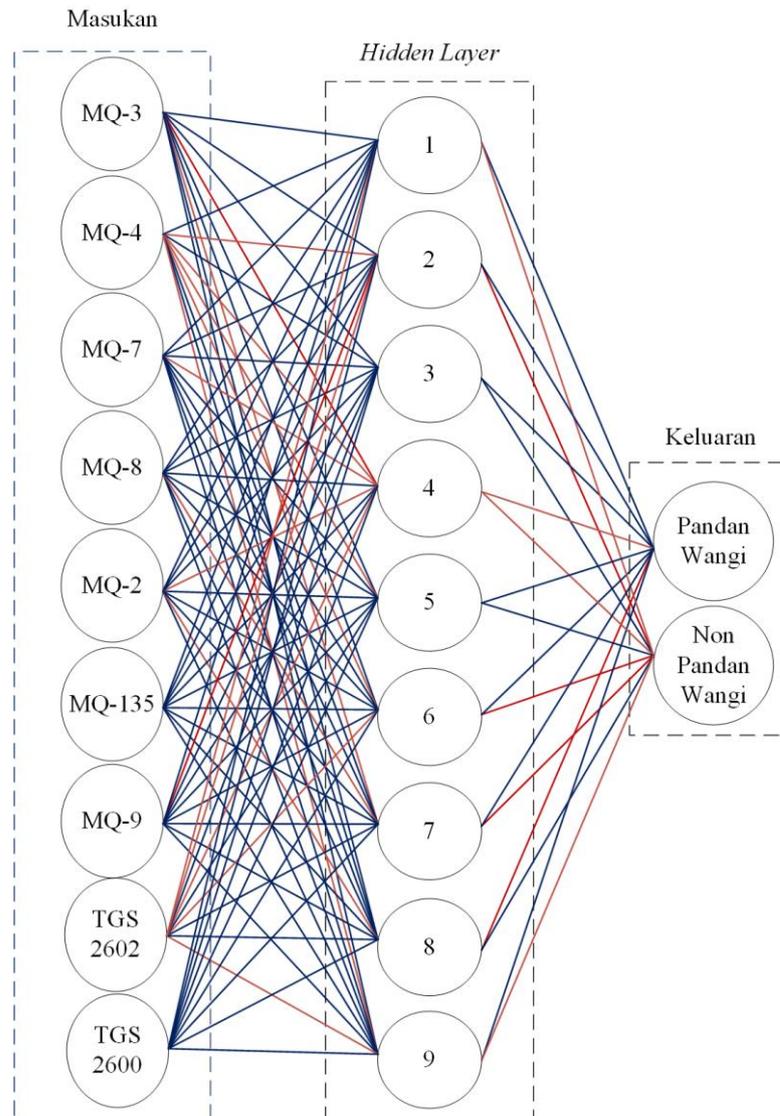
Proses pelatihan JST untuk menentukan kelapa pandan wangi menggunakan 2 *neuron hidden layer*, 11 *neuron hidden layer* dengan 9 *neuron* masukan dan 2 *neuron* keluaran yang sama seperti ditampilkan pada **Gambar 3.8** sampai **Gambar 3.10** serta *learn rate* sebesar 0,001 dan *epoch* sebesar 10^5 . Pelatihan dilakukan dengan melatih JST menggunakan data hasil penentuan puncak hasil respon

tegangan sensor terhadap masing-masing sampel. Model arsitektur pelatihan JST dengan jumlah *hidden layer* 2 ditunjukkan **Gambar 4.2**.



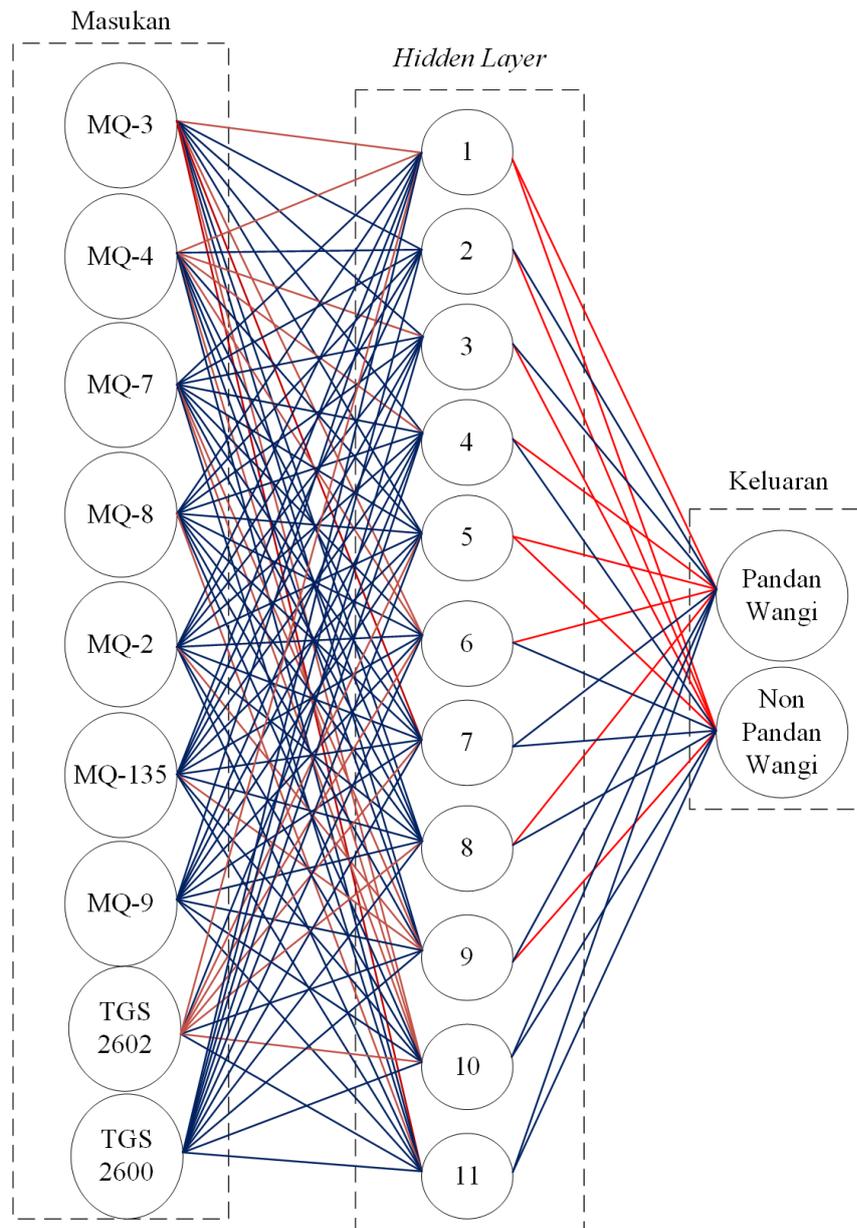
Gambar 3.8 Arsitektur JST dengan *neuron hidden layer* 2.

Gambar 3.8 menunjukkan arsitektur JST dengan *neuron hidden layer* 2. Nilai bobot hasil pelatihan yang dilambangkan dengan garis. Diketahui bahwa garis berwarna biru melambangkan bobot *neuron hidden layer* (v) bernilai positif, sedangkan garis berwarna merah bernilai negatif. Pada *neuron* yang menggunakan fungsi aktivasi *Relu* nilai bobot negatif dianggap bernilai nol. Model arsitektur pelatihan JST dengan jumlah *hidden layer* 9 ditunjukkan **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Arsitektur JST dengan *neuron hidden layer* 9.

Gambar 3.9 menunjukkan arsitektur JST dengan *neuron hidden layer* 9. Nilai bobot hasil pelatihan yang dilambangkan dengan garis. Diketahui bahwa garis berwarna biru melambangkan bobot *neuron hidden layer* (v) bernilai positif, sedangkan garis berwarna merah bernilai negatif. Pada *neuron* yang menggunakan fungsi aktivasi *Relu* nilai bobot negatif dianggap bernilai nol. Model arsitektur pelatihan JST dengan jumlah *hidden layer* 11 ditunjukkan **Gambar 3.10**,



Gambar 3.10 Arsitektur JST dengan *neuron hidden layer* 11.

Gambar 3.10 menunjukkan arsitektur JST dengan *neuron hidden layer* 11. Nilai bobot hasil pelatihan yang dilambangkan dengan garis. Diketahui bahwa garis berwarna biru melambangkan bobot *neuron hidden layer* (v) bernilai positif, sedangkan garis berwarna merah bernilai negatif. Pada *neuron* yang menggunakan fungsi aktivasi *Relu* nilai bobot negatif dianggap bernilai nol.

3.3.7 Pengujian JST

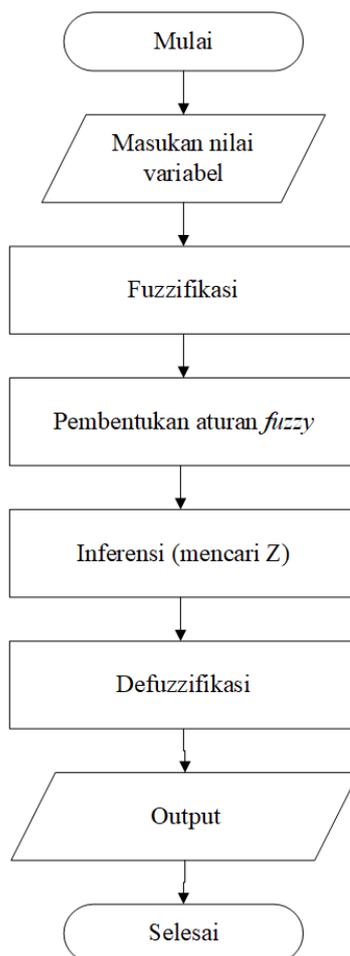
Pengujian JST dilakukan menentukan apakah JST dapat mengidentifikasi gas dengan benar. Pengujian sistem JST dilakukan dengan memberikan gas kelapa pandan wangi yang digunakan sebagai data uji dan mengubah bobot jumlah *neuron hidden layer* JST dari data latih dalam penelitian ini. Data pengujian *e-nose* dari sampel kelapa pandan wangi ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Data pengujian *e-nose* G2

No	Nama Sampel	Sampel Ke	Output		
			m=2	m=9	m=11
1.	Pandan Wangi	1			
		2			
		3			
		...			
		10			
2.	Non pandan Wangi	1			
		2			
		3			
		...			
		10			

3.3.8 Perancangan Logika Fuzzy

Tahap perancangan logika fuzzy dilakukan dengan membuat program logika fuzzy menggunakan Arduino ide dan software Matlab R2013a dengan metode mamdani. Logika fuzzy ini akan digunakan untuk mengidentifikasi kelapa pandan wangi. Adapun alur perancangan logika fuzzy dilakukan pada penelitian ini diperlihatkan dalam diagram alir perancangan logika fuzzy pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3.11 Diagram alir perancangan logika fuzzy.

Tahap *fuzzifikasi* merupakan proses yang dilakukan dengan mentransformasi input himpunan tegas (*crisp*) ke dalam himpunan fuzzy menentukan derajat keanggotaannya di dalam himpunan fuzzy. Hasil perhitungan *fuzzifikasi* kemudian diinferensikan terhadap *rule*. Tahap inferensi adalah tahap untuk mengubah masukan fuzzy menjadi keluaran fuzzy dengan cara *fuzzifikasi* tiap *rule* (IF-THEN rules) yang telah ditetapkan menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai alpha-predikat tiap *rule*. Kemudian masing-masing nilai alpha-predikat digunakan untuk menghitung *output* masing-masing *rule* (nilai *z*). Melakukan defuzzifikasi dengan mencari momen (M) dan luas daerah (A) dengan metode *centroid*.

Proses pelatihan logika fuzzy pada sistem ini dimulai dengan pembentukan aturan-aturan fuzzy berdasarkan pengetahuan yang dimiliki tentang hubungan antara *input*

dan *output* yang diinginkan. Langkah pertama dalam pembentukan aturan-aturan fuzzy adalah menentukan variabel linguistik untuk setiap *input* dan *output*. Variabel linguistik adalah representasi abstrak dari nilai-nilai fisik yang akan dioperasikan dalam sistem. Variabel linguistik dalam sistem ini adalah sebagai berikut:

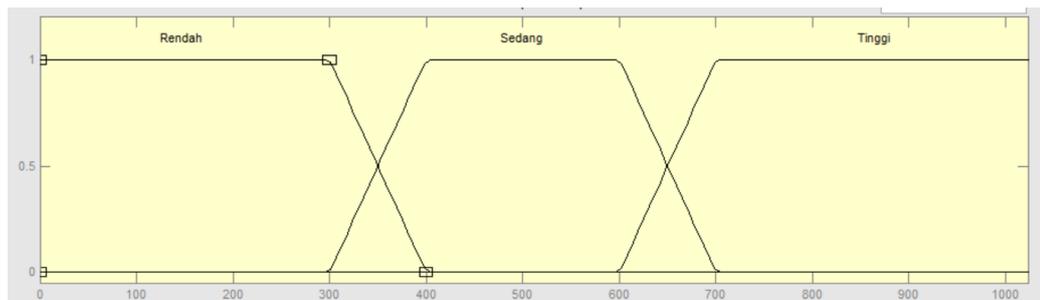
Input : TGS 2602 dan TGS 2600
Output : Pandan Wangi dan Non Pandan Wangi

- Non Pandan Wangi (NPW) : index=0-0,5
- Pandan Wangi (PW) : index=0,5-2
- Undetected : >2

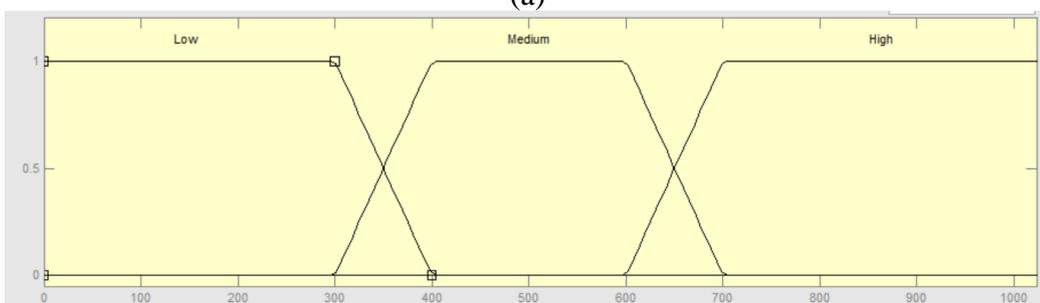
Variabel Linguistik:

- Rendah (R), sedang (S), dan tinggi (T)
- Low (L), medium (M), dan high (H)

Setelah variabel linguistik ditentukan, langkah berikutnya adalah menentukan fungsi keanggotaan untuk setiap variabel linguistik. Fungsi keanggotaan ini menggambarkan seberapa besar setiap titik dalam rentang nilai dapat dianggap sebagai bagian dari suatu himpunan linguistik. Fungsi keanggotaan pada sistem ini ditunjukkan pada **Gambar 3.12**.



(a)



(b)

Gambar 3.12 Fungsi Keanggotaan (a) TGS 2602 (b) TGS 2600.

Gambar 3.12(a) menunjukkan fungsi keanggotaan sistem sensor TGS 2602, dengan rentang nilai tegangan ADC: rendah 0-400, sedang 400-700, dan tinggi 700-1023.

Gambar 3.12(b) menunjukkan fungsi keanggotaan sistem sensor TGS 2600, dengan rentang nilai tegangan ADC: *low* 0-400, *medium* 400-700 dan *high* 700-1023. Setelah variabel linguistik dan fungsi keanggotaan ditentukan, aturan-aturan fuzzy harus dibuat. Aturan-aturan ini mendefinisikan hubungan antara kondisi input. Adapun aturan-aturan fuzzy pada sistem ini ada sebagai berikut:

1. If *rendah* dan *low* then NPW
2. If *rendah* dan *medium* then NPW
3. If *rendah* dan *high* then NPW
4. If *sedang* dan *low* then PW
5. If *sedang* dan *medium* then PW
6. If *sedang* dan *high* then PW
7. If *tinggi* dan *low* then undetected
8. If *tinggi* dan *medium* then PW
9. If *tinggi* dan *high* then PW

Setelah aturan-aturan fuzzy dibuat, sistem perlu dilatih dengan menggunakan data atau skenario simulasi. Hasil klasifikasi logika fuzzy metode Mamdani ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Hasil klasifikasi logika *fuzzy* metode Mamdani

No.	Input		Nilai Output Sistem	Nilai Output Matlab	Akurasi(%)
	TGS 2602	TGS 2600			
1.					
2.					
3.					
...					
10.					
	Rata-rata				

3.3.9 Pengujian *Enose Portable*

Pengujian dilakukan untuk menentukan apakah *enose portable* dapat mengidentifikasi gas dengan benar. Pengujian sistem *e-nose portable* dilakukan dengan memberikan gas kelapa pandan wangi yang digunakan sebagai data uji. Data pengujian *e-nose portable* yang ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Data Pengujian *E-Nose Portable*

No	Nama	Sampel ke	Output
1.	Pandan Wangi	1	
		2	
		3	
		...	
		10	
2.	Non Pandan Wangi	1	
		2	
		3	
		...	
		10	

3.3.10 Analisa Sistem

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi terhadap model JST yang telah dibuat dengan cara melakukan pengujian terhadap data yang berbeda dari data yang digunakan pada proses pelatihan JST. Analisa dilakukan dengan membentuk *confusion matrix* yang berupa nilai yang berbentuk matriks diagonal seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Rancangan tabel *confusion matrix*

Sampel Sebenarnya	Sampel Hasil Identifikasi	
	Pandan Wangi	Non Pandan Wangi
Pandan Wangi		
Non pandan Wangi		

Dari **Tabel 3.6** dapat dicari nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, presisi, dan nilai prediksi negatif dari setiap model JST yang diperoleh dari hasil pelatihan. Hasil perhitungan data matriks kebingungan biner kemudian mengulang pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7 Rancangan tabel *binary confusion matrix*

Sampel Sebenarnya	Sampel Hasil Identifikasi		
	Pandan Wangi	Non Pandan Wangi	
Pandan Wangi	TP =	FN =	Sensitivitas =
Non Pandan Wangi	FP =	TN =	Spesifisitas =
	Presisi =	Prediksi Negatif =	Akurasi =

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Rancang sistem *e-nose portable* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* dan logika *fuzzy* dengan metode mamdani telah mampu mendeteksi kelapa pandan wangi.
2. Rancang sistem *e-nose portable* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* mampu membedakan kelapa pandan wangi dengan kelapa non pandan wangi dengan *error* pelatihan JST sebesar 0,97% dan logika *fuzzy* dengan metode mamdani *error* sebesar 99,98%
3. Validasi sampel dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) metode *backpropagation* telah mampu mengklasifikasikan sampel berdasarkan jenisnya dengan persentase variasi tertinggi sebesar 88,91%.

5.2. Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya

1. Membuat PCB minimum sistem untuk mengurangi penggunaan mikrokontroler yang mudah rusak
2. Memperbanyak sampel data latih untuk meningkatkan kinerja JST dalam membedakan sampel.
3. Memberikan perlakuan yang sama untuk proses penginputan gas ke dalam *chamber* untuk setiap masing-masing sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghilinategh, N., Dalvand, M.J., and Anvar, A. 2020. Detection of ripeness grades of berries using an electronic nose. *Food Science and Nutrition*, 8(9), 4919–4928.
- Amin, Sarmidi and Prabandono, K. 2014. *Coco Preneurship*. Lily Publisher: Yogyakarta.
- Arduino, 2024. *Product Reference Manual*.
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>. Diakses pada 15 Maret 2024 pukul 21.40.
- Arroyo, P., Meléndez, F., Suárez, J.I., Herrero, J.L., Rodríguez, S., and Lozano, J. 2020. Electronic nose with digital gas sensors connected via bluetooth to a smartphone for air quality measurements. *Sensors (Switzerland)*, 20(3), 1-16.
- Astuti, W., Lenono, D., and Faizah, F. 2016. Identifikasi Tahu Berformalin dengan Electronic Nose Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 6(2), 211-220.
- Banzi, M., and Shiloh, M. 2022. *Getting Started with Arduino 4th Edition*. Maker Media: California.
- Basit, A., Bakti, V. K., and Mutmainnah, U. G. 2023. *Buku Ajar Mikrokontroler Arduino Uno*. Nusantara Edu Media: Jawa Tengah.
- Chen, H.W., Lee, J.H., Lin, B.Y., Chen, S., and Wu, S.T. 2018. Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives. *Light: Science and Applications*, 7(3), 1-13.
- Chen, J., Gu, J., Zhang, R., Mao, Y., and Tian, S. 2019. Freshness evaluation of three kinds of meats based on the electronic nose. *Sensors (Switzerland)*, 19(3), 1-11.
- Chen, L. Y., Wu, C. C., Chou, T. I., Chiu, S. W., and Tang, K. T. 2018. Development of a dual MOS electronic nose/camera system for improving fruit ripeness classification. *Sensors (Switzerland)*, 18(10), 1-11.

- Datasheet. 2023. *SSD1306*.
https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SSD1306-OLED-Display-Datasheet.pdf. Diakses pada 08 Oktober 2023 pukul 10.00 WIB.
- Ding, Q., Zhao, D., Liu, J., and Yang, Z. 2018. Detection of fruits in warehouse using Electronic nose. *MATEC Web of Conferences*, 232, 1–6.
- Disbunak Sumut. 2023. *KELAPA PANDAN WANGI*.
<http://disbunak.sumutprov.go.id/?p=2793>. Diakses pada 04 September 2023 pukul 10.00 WIB.
- Dong, W., Hu, R., Long, Y., Li, H., Zhang, Y., and Chu, Z. 2019. Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. *Food Chem*, 272, 723-731.
- Dragonieri, S., Pennazza, G., Carratu, P., and Resta, O. 2017. Electronic Nose Technology in Respiratory Diseases. *Lung*, 195(2), 157–165.
- Fadillah, N., Imanuddin, and Lestari, D. 2019. Hand Human Recognition Berdasarkan Geometri Telapak Tangan Menggunakan Principal Component Analysis. *Jurnal SIMETRIS*, 10(2), 771–786.
- Fan, H., Bennetts, V.H., Schaffernicht, E., and Lilienthal, A.J. 2019. Towards gas discrimination and mapping in emergency response scenarios using a mobile robot with an electronic nose. *Sensors (Switzerland)*, 19(3), 1-30.
- Febrianti, T., and Harahap, E. 2021. Penggunaan Aplikasi MATLAB dalam Pembelajaran Program Linear. *Jurnal Matematika*, 20(1), 1–7.
- Fibrianda, M. F., and dan Adhitya Bhawiyuga. 2018. Analisis Perbandingan Akurasi Deteksi Serangan pada Jaringan Komputer Dengan Metode Naïve Bayes Dan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2(9), 3112–3123.
- Figaro. 2023a. *TGS2602 pdf, TGS2602 description, TGS2602 datasheets, TGS2602 view alldatasheet*. [http://www.figarosensor.com/products/docs/TGS2602-B00\(0913\).pdf](http://www.figarosensor.com/products/docs/TGS2602-B00(0913).pdf). Diakses pada 08 Oktober 2023 pukul 10.00 WIB.
- Figaro. 2023b. *TGS2600 pdf, TGS2600 description, TGS2600 datasheets, TGS2600 view alldatasheet*.
<https://www.figarosensor.com/product/docs/TGS2600B00%20%280913%29.pdf>. Diakses pada 31 Oktober 2023 pukul 20.00 WIB.
- Fuller, James. *SSD1306 128×64 Mono 0.96 Inch I2C OLED Display*. Diakses pada https://www.datasheethub.com/ssd1306-128x64-mono-0-96-inch-i2c-oled-display/#google_vignette. Diakses pada 31 Oktober 2023 pukul 20.00 WIB.

- Gancarcz, M., Nawrocka, A., and Rusinek, R. 2019. Identification of Volatile Organic Compounds and Their Concentrations Using a Novel Method Analysis of MOS Sensors Signal. *Journal of Food Science*, 84(8), 1–9.
- Gardner, J. W., and Bartlett, P. N. 1994. A brief history of electronic nose. *Sensors and Actuators B*, 18, 211–220.
- Gowdhaman, P., Venkatesan, T., Banupriya, R., Nimal, A. T., and Pandya, H. M. 2020. Comprehensive Review of Latest e-Nose Sensor Technologies. *Journal of Environmental Nanotechnology*, 9(1), 31–41
- Hakim, A., Muti'ah, R., Aprinda, R., Suryadinata, A., and Maslakhah, F.N. 2018. Metabolite Profiling Bagian Akar, Batang, Daun, Dan Biji Helianthus annuus L. Menggunakan UPLC-MS. *Media Pharmaceutica Indonesiana*, 2(2), 64-81.
- Hayasaka, T., Lin, A., Copa, V. C., Lopez, L. P., Loberternos, R. A., Ballesteros, L. I. M., Kubota, Y., Liu, Y., Salvador, A. A., and Lin, L. 2020. An electronic nose using a single graphene FET and machine learning for water, methanol, and ethanol. *Microsystems and Nanoengineering*, 6(50), 1-13.
- He, S., and Li, P. 2020. A MATLAB based graphical user interface (GUI) for quickly producing widely used hydrogeochemical diagrams. *Geochemistry*, 80(4), 1-35.
- Heaton, J. 2008. *Introduction to Neural Networks for Java*, Heaton Research. Inc:USA.
- Hermawan, A. 2006. *Jaringan Syaraf Tiruan Teori dan Aplikasi*. Andi: Yogyakarta.
- Hidayat, S. N., Triyana, K., Fauzan, I., Julian, T., Lelono, D., Yusuf, Y., Ngadiman, N., Veloso, A. C. A., and Peres, A. M. 2019. The Electronic Nose Coupled with Chemometric Tools for Discriminating the Quality of Black Tea Samples in Situ. *Chemosensors Journal*, 7(3), 1–5.
- Hizham, F.A., Nurdiansyah, Y., and Firmansyah, D.M. 2018. Implementasi Metode Backpropagation Neural Network (BNN) dalam Sistem Klasifikasi Ketepatan Waktu Kelulusan Mahasiswa (Studi Kasus: Program Studi Sistem Informasi Universitas Jember). *Berkala Sainstek*, 6(2), 97-105.
- Ismarti, I. 2021. Rapid Detection of Pork and Pig Derivatives Based on Volatile Compounds Aroma Using Electronic Nose. *Journal of Halal Product and Research*, 4(2), 59-64.
- Jauhari, D., Hinawan, Al., and Candra, D. 2016. Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 2(1), 3–6.

- Jia, P., Meng, F., Cao, H., Duan, S., Peng, X., and Xu, M. 2019. Training technique of electronic nose using labeled and unlabeled samples based on multi-kernel LapSVM. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 294, 98–105.
- Jia, W., Liang, G., Wang, Y., and Wang, J. 2018. Electronic Noses as a Powerful Tool for Assessing Meat Quality: a Mini Review. *Food Analytical Methods*, 11, 2916–2924.
- Jirapong, C., Wongs-Aree, C., Noichinda, S., Uthairatanakij, A., and Kanlayanarat, S. 2015. Assessment of volatile and non-volatile organic compounds in the liquid endosperm of young ‘nam hom’ coconut (*Cocos nucifera* L.) at two stages of maturity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90(5), 477–482.
- Karakaya, D., Ulucan, U., and Turkan, M. 2020. Electronic Nose and Its Applications: A Survey. *International Journal of Automation and Computing*, 17(2), 179–209.
- Kaveh, A., and Bakhshpoori, T. 2019. *Metaheuristics: Outlines, MATLAB Codes and Examples*. Springer Nature:Berlin.
- Khoerun, B., and Udhiarto, A. 2019. Pengaruh Variasi Suhu Laminating, Waktu Ultrasonic Cleaning, Kecepatan Rotasi Spin Coating Terhadap Karakterisasi Organic Light Emitting Diode (Oled). *JIT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 5(2), 72-77.
- Kondaveeti, H.K., Kumaravelu, N.K., Vanambathina, S.D., Mathe, S.E., and Vappangi, S. 2021. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 1–28
- Krisanapook, K., Anusornpornpong, P., TeeHavananda, and Luengwilai, K. 2019. Inflorescence and flower development in Thai aromatic coconut. *Journal of Applied Horticulture*, 21(1), 3–12.
- Kristanto, Andi. 2004. *Jaringan Syaraf Tiruan (Konsep Dasar, Algoritma dan Aplikasi)*. Gava Media: Yogyakarta.
- Kurniawan, A. S. 2018. Implementasi Metode Artificial Neural Network dalam Memprediksi Hasil Ujian Kompetensi Kebidanan (Studi Kasus di Akademi Kebidanan Dehasen Bengkulu). *Pseudocode*, 5(1), 37–44.
- Kusuma, S., dan Purnomo, H. 2013. *Buku Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Liu, H., Li, Q., Yan, B., Zhang, L., and Gu, Y. 2019. Bionic electronic nose based on mos sensors array and machine learning algorithms used for wine properties detection. *Sensors (Switzerland)*, 19(1), 1–11.

- Luckanatinvong, V. 2015. *Effect of pre- and post-harvest factors on aroma developing and quality of aromatic coconut (Cocos nucifera L.)*. Kasetsart University: Thailand.
- Mawardzi, M. F. R. M., Japper-Jaafar, A., Najib, M. S., Daud, S.M., and Ya, T. M.Y.S.T. 2019. Classification of waxy crude oil odor-profile using gas sensor array. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 469, 1–9.
- Mayapada, Retno, Tinungki, G. M., and Sunisu, N. 2019. Penerapan Sparse Principal Component Analysis dalam Menghasilkan Matriks Loading yang Sparse. *Jurnal Matematika Statistika Dan Komputasi*, 15(2), 44-54.
- Mazen, F. M. A., and Nashat, A. A. 2019. Ripeness Classification of Bananas Using an Artificial Neural Network. *Arabian Journal For Science and Engineering*, 44, 6901–6910.
- Mia, M. R., Mia, M. J., Majumder, A., Supriya, S., and Habib, M. T. 2019. Computer vision based local fruit recognition. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, Vol. 9, pp. 2810-2820.
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. K., and Natarajan, V. 2021. Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends in Food Science and Technology*, 108, 133–147.
- Muna, N., Prasetyo, Y., and Sasmito, B. 2020. Analisis Perbandingan Metode PCA (Principal Component Analysis) dan Indeks Mineral Lempung untuk Pemodelan Sebaran Kandungan Bahan Organik Tanah Menggunakan Citra Satelit Landsat di Kabupaten Kendal. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 325–334.
- Nagle, H. T., Schiffman, S. S., and Gutierrez-Osuna, R. 1998. How and why of electronic noses. *IEEE Spectrum*, 35(9), 22–34.
- Nartvaranant, P. 2019. Genetic variations for ‘Nam Hom’ coconut (Cocos nucifera L.) grown in the western region of Thailand using AFLP markers. *Journal of Thai Interdisciplinary Research*, 14(1), 12–20.
- Nikhontha, K., Krisanapook, K., and Imsabai, W. 2019. Fruit Growth, Endocarp Lignification, and Boron and Calcium Concentrations in Nam Hom (Aromatic) Coconut during Fruit Development. *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, 25(1), 21–31.
- Nur, A., Elmunsyah, H., and Rosita, D. 2021. *Modul Ajar Fuzzy*. Ahlimedia: Malang.
- Palacín, J., Rubies, E., and Clotet, E. 2022. Application of a Single-Type eNose to Discriminate the Brewed Aroma of One Caffeinated and Decaffeinated Encapsulated Espresso Coffee Type. *Chemosensors*. 10(10), 421-421.

- Paluszek, M., and Thomas, S. 2019. *MATLAB Machine Learning Recipes*. In *MATLAB Machine Learning Recipes*. Apress Media: New York.
- Patel, B.N., and Prajapati, M.M. 2014. OLED: A Modern Display Technology. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(1), 2250–3153.
- Permatasari, Z., Sifaunajah, A., and Khafidhoh, N. 2019. *Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik untuk Klasifikasi Data*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas KH. A. Wahab Hasbullah: Jawa Timur.
- Persaud, K., and Dodd, G. 1982. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299, 352–355.
- Pratiwi, D., Santoso, G.B., Muslimah, L., and Rizki, R. D. 2019. An Intelligent Dengue Hemorrhagic Fever Severity Level Detection Based on Deep Neural Network Approach. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, 12(2), 31-39.
- Priego-Capote, F., and Castro, M. D. 2019. *Microbiome and Metabolome in Diagnosis, Therapy, and other Strategic Applications*. Elsevier Inc: Cambridge.
- Rabersyah, D., Firdaus, and Derisma. 2016. Identifikasi Jenis Bubuk Kopi menggunakan Electronic Nose dengan Metode Pembelajaran Backpropagation. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5(3), 332–338.
- Rahmani, I. N., Lelono, D., and Triyana, K. 2018. Klasifikasi Kakao Berbasis e-nose dengan Metode Neuro Fuzzy. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 8(1), 49–60.
- Ratama, N., and Munawaroh. 2019. *Konsep Kecerdasan Buatan dengan Pemahaman Logika Fuzzy dan Penerapan Aplikasi*. Uwais Inspirasi Indonesia: Ponorogo.
- Ritonga, A. S., and Atmojo, S. 2018. Pengembangan Model Jaringan Syaraf Tiruan untuk Memprediksi Jumlah Mahasiswa Baru di PTS Surabaya (Studi Kasus Universitas Wijaya Putra). *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 12(1), 15-24.
- Rusinek, R., Siger, A., Gawrysiak-Witulska, M., Rokosik, E., Malaga-Toboła, U., and Gancarz, M. 2020. Application of an electronic nose for determination of pre-pressing treatment of rapeseed based on the analysis of volatile compounds contained in pressed oil. *International Journal of Food Science and Technology*, 55, 2161–2170.
- Rusinek, R., Gancarz, M., Krekora, M., and Nawrocka, A. 2019. A Novel Method for Generation of a Fingerprint Using Electronic Nose on the Example of

- Rapeseed Spoilage. *Journal of Food Science*, 84(1), 51–58.
- Sakinah, N.P., Cholissodin, I., and Widodo, A. W. 2018. Prediksi Jumlah Permintaan Koran Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 2(7), 2612–2618.
- Salam, Z.A. 2020. *Mudahnya menjadi Programmer with Arduino*. CV Jejak: Jawa Barat.
- Satria, B. 2018. Prediksi Volume Penggunaan Air PDAM Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 2(3), 674–684.
- Sharma, P., Ghosh, A., Tudu, B., Sabhapondit, S., Baruah, B.D., Tamuly, P., Bhattacharyya, N., and Bandyopadhyay, R. 2015. Monitoring the fermentation process of black tea using QCM sensor based electronic nose. *Sensors and Actuators*, 219, 146-157.
- Shi, H., Zhang, M., and Adhikari, B. 2018. Advances of electronic nose and its application in fresh foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16), 1–44.
- Shi, J., Nian, Y., Da, D., Xu, X., Zhou, G., Zhao, D., and Li, C. 2020. Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography–mass spectrometry and electronic nose. *LWT- Food Science and Technology*, 124, 1–8.
- Shi, Y., Gong, F., Wang, M., Liu, J., Wu, Y., and Men, H. 2019. A deep feature mining method of electronic nose sensor data for identifying beer olfactory information. *Journal of Food Engineering*, 263, 437-445.
- Siang, J.J. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Andi: Yogyakarta.
- Sovia, R., and Yanto, M. 2019. Jaringan Syaraf Tiruan Analisa Pengaruh Gizi Buruk Terhadap Perkembangan Balita dengan Algoritma Perceptron. *Jurnal Ilmiah Media SISFO*, 12(1), 1003–1011
- Sundaram, K. M., and Karthigai, S. 2019. Determining hidden neurons with variant experiments in multilayer perceptron using machine learning neural network. *International Journal of Technology and Exploring Engineering*, 8, 2278-3075.
- Tan, J., Balasubramanian, B., Sukha, D., Ramkissoon, S., and Umaharan, P. 2019. Sensing fermentation degree of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans by machine learning classification models based electronic nose system. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), 1–8.

- Tan, J., and Xu, J. 2020. Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 104–115.
- Tessie, 2021. *TP4056 Standalone Linear Li-Lon Battery Charger: Datasheet, Schematics and Current*. <https://www.utmel.com/components/tp4056-standalone-linear-li-lon-battery-charger-datasheet-schematics-and-current?id=689>. Diakses pada 31 Oktober 2023 pukul 20.00 WIB.
- Viejo, C. G., Fuentes, S., Godbole A., Widdicombe, B., Unnithan, R.R. 2020. Development of a low-cost e-nose to assess aroma profiles: An artificial intelligence application to assess beer quality. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 308, 1–7.
- Wadi, H. 2021. *Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation menggunakan MATLAB GUI*. Turida Publisher: Jakarta.
- Wakhid, S., Sarno, R., Sabilla, S.I., and Maghfira, D.B. 2020. Detection and classification of Indonesian civet and non-civet coffee based on statistical analysis comparison using E-Nose. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(4), 56–65.
- Wasilewski, T., Migoń, D., Gębicki, J., and Kamysz, W. 2019. Critical review of electronic nose and tongue instruments prospects in pharmaceutical analysis. *Analytica Chimica Acta*, 1077, 14–29.
- Widharma, I.G.S., and Wiranata, L.F. 2022. *Mikrokontroler dan Aplikasi*. Wawasan Ilmu: Jawa Tengah.
- Wijaya, A. H. 2019. Artificial Neural Network untuk Memprediksi Beban Listrik dengan Menggunakan Metode Backpropagation. *Jurnal CoreIT*, 5(2), 61–70.
- Wilson, A. D., & Baietto, M. 2009. Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9(7), 5099–5148.
- Winarno, F.G. 2014. *Kelapa Pohon Kehidupan*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Winarti. 2018. *Kelapa: Tanaman Multiguna*. Saka Mitra Kompetensi: Klaten.
- Wu, X. H., Zhu, J., Wu, B., Huang, D.P., Sun, J., and Dai, C.X. 2020. Classification of Chinese vinegar varieties using electronic nose and fuzzy Foley–Sammon transformation. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1310–1319.
- Xu, S., Sun, X., Lu, H., Yang, H., Ruan, Q., Huang, H., and Chen, M. 2018. Detecting and monitoring the flavor of tomato (*Solanum lycopersicum*) under the impact of postharvest handlings by physicochemical parameters and electronic nose. *Sensors (Switzerland)*, 18(6), 1–15.

- Yulmaini. 2018. *Logika Fuzzy: Studi Kasus and Penyelesaian Menggunakan Microsoft Excel dan Matlab*. Andi: Yogyakarta.
- Zola, F., Nurcahyo, G. W., and Santony, J. 2018. Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Algoritma Backpropagation Untuk Memprediksi Prestasi Siswa. *Jurnal Teknologi dan Open Sourche*, 1(1), 58–72.
- Zulaikhah, S. T. 2019. Health Benefits of Tender Coconut Water (TCW). *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10. 474-480.