

**RANCANG BANGUN SISTEM *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* BERBASIS
MULTI SENSOR MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)
DENGAN METODE *BACKPROPAGATION* PADA SAMPEL UJI
BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)**

Skripsi

Oleh

AJENG RIANTI DEWI



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* BERBASIS MULTI SENSOR MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) DENGAN METODE *BACKPROPAGATION* PADA SAMPEL UJI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)

Oleh

Ajeng Rianti Dewi

Penelitian mengenai rancang bangun *electronic nose (e-nose)* dengan sampel uji Bahan Bakar Minyak (BBM) telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancang bangun sistem *electronic nose* menggunakan Jaringan syaraf Tiruan (JST) dengan metode *backpropagation* yang mampu mengenali jenis gas/uap pada beberapa jenis BBM yaitu solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax. BBM merupakan salah satu jenis senyawa *volatile* berbahaya yang memiliki bau khas, digunakan deret sensor gas yang sensitif terhadap gugus OH, CO dan hidrokarbon. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu MQ-2, MQ-9, MQ-135, dan TGS-2600. Tahap penelitian meliputi pengujian sensor, pengambilan data, analisis tegangan sensor, plot *Principal Component Analysis (PCA)*, pelatihan JST, dan analisis kinerja JST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi rancang bangun *e-nose* dapat membedakan beberapa jenis BBM dan pengolahan data dengan JST menggunakan metode *backpropagation* menunjukkan dengan jelas perbedaan dari proses klasifikasi antara pola gas BBM pada jenis solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax dengan tingkat keberhasilan yang didapat yaitu 94,75%.

Kata Kunci: *backpropagation*, BBM, *e-nose*, JST, PCA.

ABSTRACT

DESIGN OF A MULTI-SENSOR BASED ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) SYSTEM USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN) WITH BACKPROPAGATION METHOD ON FUEL OIL TEST SAMPLES

By

Ajeng Rianti Dewi

Research on the design of electronic nose (e-nose) with fuel oil test samples has been conducted. The purpose of this research is to design an electronic nose system using Artificial Neural Network (ANN) with backpropagation method that is able to recognise the type of gas/vapour in several types of fuel, diesel, kerosene, pertalite, and pertamax. Fuel is one type of dangerous volatile compound that has a distinctive odour, a series of gas sensors are used that are sensitive to OH, CO and hydrocarbon groups. The sensors used in this research are MQ-2, MQ-9, MQ-135, and TGS-2600. The research phase includes sensor testing, data collection, sensor voltage analysis, Principal Component Analysis (PCA) plot, ANN training, and ANN performance analysis. The results show that the implementation of the e-nose design can distinguish several types of fuel and data processing with ANN using the backpropagation method clearly shows the difference from the classification process between fuel gas patterns in diesel, kerosene, pertalite, and pertamax with a success rate of 94.75%.

Keyword: ANN, backpropagation, e-nose, fuel, PCA.

**RANCANG BANGUN SISTEM *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* BERBASIS
MULTI SENSOR MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)
DENGAN METODE *BACKPROPAGATION* PADA SAMPEL UJI
BAHAN BAKAR MINYAK (BBM)**

Oleh

AJENG RIANTI DEWI

Skripsi

Sebagai Salah Satu untuk Memperoleh Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem *Elektronic Nose (E-nose)*
Berbasis Multi Sensor Menggunakan Jaringan
Saraf Tiruan (JST) Metode Backpropagation
pada Sampel Uji Bahan Bakar Minyak (BBM).

Nama Mahasiswa : Ajeng Rianti Dewi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041018

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



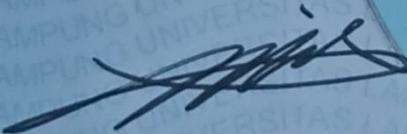
Bandar Lampung, 06 November 2023

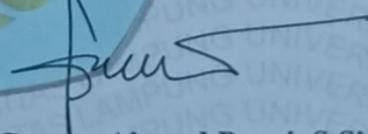
MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

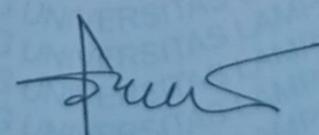
Pembimbing I

Pembimbing II


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


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

2. Ketua Jurusan Fisika


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

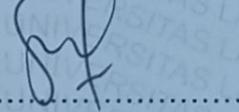
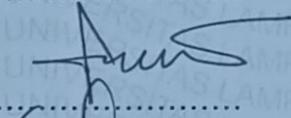
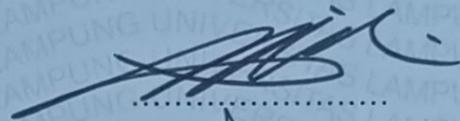
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Gurum Ahmad Pauzi S.Si., M.T.**

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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

NIP. 197110012005011002



Tangga Lulus Ujian Skripsi: 30 Oktober 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini 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 secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar Pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 November 2023



Ajeng Rianti Dewi
NPM.1917041089

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ajeng Rianti Dewi. Penulis dilahirkan di Kutoarjo pada 08 Juni 2001. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Riyanto Efendi dan Ibu Lilis Kristiana Dewi.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di TK Sekar Indah Kutoarjo pada tahun 2007, SDN 1 Kutoarjo pada 2013, SMPN 1 Way Lima pada tahun 2016, dan SMAN 1 Gedong Tataan pada tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN pada tahun 2019. Selama menempuh pendidikan, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT.PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Tanjung Karang Unit TRAGI Tarahan, dengan judul “Analisis Pengujian Karakteristik Gas SF₆ sebagai Media Pemadam Busur Api Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Gardu Induk Teluk Betung”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode II tahun 2022 di Pekon Sinar Petir, Tanggamus.

Penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi sebagai anggota Bidang Sains dan Teknologi (Saintek) HIMAFI FMIPA Unila tahun 2021. Penulis juga sebagai asisten praktikum mata kuliah Pemrograman Komputer dan Fisika Dasar I pada tahun 2022, dan Fisika Komputasi 2023. Penulis merupakan peraih medali perunggu *National Youth Competititon* (NYC) bidang infografis di Universitas Brawijaya pada tahun 2022.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohiim.....

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah
Subhanahu wata'ala, karya ini kupersembahkan
kepada:**

Kedua Orangtuaku: Bapak Riyanto Efendi dan Ibu Lilis Kristiana Dewi
atas segala doa dan usaha yang diberikan demi kesuksesan putrinya hingga
mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat universitas

Saudaraku: Vanesha dan Binar atas kasih sayang, dukungan, dan semangat
sehingga saya dapat mencapai semua ini.

Seluruh keluarga besar dan teman-temanku yang selalu
memberikan dukungan selama ini.

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

MOTTO

**Angin Tak Berhembus untuk Menggoyangkan Pepohonan melainkan
Menguji Kekuatan Akarnya**

(Ali Bin Abi Thalib)

Experience is not the best teacher; evaluated experience is

(Howard G. Hendricks)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Kuasa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem *Electronic Nose (E-Nose)* Berbasis Multi Sensor Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan Metode *Backpropagation* pada Sampel Uji Bahan Bakar Minyak (BBM)**”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 06 November 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'A' and a cursive 'R' followed by 'anti Dewi'.

Ajeng Rianti Dewi

SANWACANA

Segala puji bagi Allah, yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih telah membantu penyusunan skripsi ini kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M. T., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan ilmu dan bimbingannya dalam penulisan skripsi.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr.rer.nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M. T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan MIPA Universitas Lampung.
7. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa Universitas Lampung.
8. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama penulis menjalani perkuliahandi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

9. Bapak Riyanto, Ibu Lilis, dan kedua adik-adikku Vanesha dan Binar yang senantiasa memberikan dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Pendidikan di Universitas Lampung.
10. Teman-teman Fisika khususnya kepada tim *e-nose* yang senantiasa memberikan ilmu, pengalaman, dan informasi selama perkuliahan.
11. Teman-teman seperjuangan Larasati Handayani, Aryu Kusmita, Sohwatunnisa, Dwina N. Syahputri, Diah Ayu Fitriana Dewi, dan Lee Felix yang telah kebersamai dan memberi semangat kepada penulis selama menyelesaikan studi.
12. Teman-teman dan keluarga besar HIMAFI yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa.
13. Seluruh mahasiswa/i Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung angkatan 2019, dan teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

DAFTAR ISI

COVER	i
ABSTRAK	ii
COVER DALAM	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait.....	7
2.2 Teori Dasar	11
2.2.1 Electronic Nose	11
2.2.2 Jaringan Syaraf Tiruan	13
2.2.3 Metode Backpropagation	17
2.2.4 <i>Metal Oxide Semiconductor</i> (MOS).....	20
2.2.5 Sensor yang Digunakan.....	21

2.2.6	Node MCU ESP 32	25
2.2.7	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	26
2.2.8	Matlab (<i>Matrix laboratory</i>).....	30
2.2.9	Minyak dan Gas Bumi.....	33
III. METODE PENELITIAN		36
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2	Alat dan Bahan	36
3.3	Prosedur Penelitian.....	37
3.4	Perancangan Alat.....	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Realisasi <i>E-Nose</i>	49
4.2	Pengambilan Data Sensor dan Pengujian Sensor	52
4.3	Perangkat Lunak JST	53
4.3.1	Perekaman Data Sampel.....	54
4.3.2	Proses Fitting Data	55
4.3.3	Penentuan Puncak	56
4.3.4	Analisis Tegangan Sensor	57
4.3.5	Plot PCA.....	60
4.3.6	Pelatihan JST.....	61
4.3.7	Analisis Kinerja JST.....	66
V. SIMPULAN DAN SARAN		72

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur JST.....	8
Gambar 2.2	Analogi antara sistem penciuman manusia dan <i>E-nose</i>	12
Gambar 2.3	Neuron mamalia.....	14
Gambar 2.4	Model Sebuah Neuron	15
Gambar 2.5	Struktur perceptron <i>multilayer</i> dari JST <i>backpropagation</i>	19
Gambar 2.6	Penampang kapasitor MOS bias ke inversi menunjukkan lapisan inversi, lapisan penipisan, dan curah netral	20
Gambar 2.7	Kurva karakteristik sensitivitas sensor MQ-2.....	22
Gambar 2.8	Kurva karakteristik sensitivitas sensor MQ-9.....	23
Gambar 2.9	Kurva karakteristik sensitivitas sensor MQ-135.....	24
Gambar 2.10	Karakteristik sensitivitas umum sensor TGS2600.....	25
Gambar 2.11	Diagram Pin NodeMCU ESP32	26
Gambar 2.12	Contoh grafik dari <i>Principal Component Analysis</i>	30
Gambar 2.13	Tampilan JST yang ada di Matlab.....	32
Gambar 2.14	Training JST yang ada di Matlab.....	32
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.	38
Gambar 3.2	Skema Rancang <i>Elektronic Nose</i>	39
Gambar 3.3	Desain <i>e-nose</i> 3 dimensi (a) bagian depan, dan (b) bagian belakang.....	41
Gambar 3.4	Diagram blok system <i>e-nose</i>	42
Gambar 3.5	Rangkaian sensor gas <i>array e-nose</i>	43
Gambar 3.6	Rangkaian PCB sensor gas <i>array</i> penelitian.	43
Gambar 3.7	Diagram alir perancangan JST.....	44
Gambar 3.8	Grafik respon sensor <i>array</i>	45
Gambar 4.1	Realisasi Sistem <i>E-Nose</i> (Bagian depan).....	49

Gambar 4.2	Realisasi Sistem <i>E-Nose</i> (bagian belakang)	50
Gambar 4.3	Realisasi sistem e-nose (bagian dalam)	50
Gambar 4.4	Rangkaian Sensor	51
Gambar 4.5	Grafik respon sensor (a) MQ-2, (b) MQ-9, (c) MQ-135, dan (d) TGS-2600 terhadap gas metana.....	57
Gambar 4.6	Grafik masing-masing sensor terhadap gas metana.....	58
Gambar 4.7	Grafik respon sensor (a) MQ-2, (b) MQ-9, (c) MQ-135, dan (d) TGS-2600 terhadap gas karbon monoksida.	58
Gambar 4.8	Grafik masing-masing sensor terhadap gas karbon monoksida. ...	59
Gambar 4.9	Grafik respon sensor terhadap berbagai jenis Bahan Bakar Minyak (BBM).	60
Gambar 4.10	PCA sensor dari berbagai sampel BBM.	61
Gambar 4.11	Arsitektur JST dengan jumlah <i>neuron hidden layer</i> 4.....	63
Gambar 4.12	Arsitektur JST dengan jumlah <i>neuron hidden layer</i> 8.....	64
Gambar 4.13	Tampilan GUI JST.....	66
Gambar 4.14	Grafik pengaruh <i>hidden layer</i> terhadap parameter JST.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi gas bumi pada umumnya.....	34
Tabel 3.1	Jadwal Pelaksanaan Penelitian	36
Tabel 3.2	Data kalibrasi sensor menggunakan gas CO dan CH ₄	40
Tabel 3.3	Jumlah <i>node</i> pada lapisan tersembunyi	46
Tabel 3.4	Data uji sistem <i>e-nose</i>	47
Tabel 3.5	Rancang table <i>confusion matrix</i>	48
Tabel 4.1	Volume metana dan karbon monoksida yang dibutuhkan pada pengujian sensor.....	52
Tabel 4.2	Bobot positif pada <i>hidden layer</i> 4	63
Tabel 4.3	<i>Neuron hidden layer</i> 4 yang berpengaruh	63
Tabel 4.4	Total bobot positif pada <i>hidden layer</i> 4.....	64
Tabel 4.5	Bobot positif pada <i>hidden layer</i> 8	65
Tabel 4.6	<i>Neuron hidden layer</i> 8 yang berpengaruh	65
Tabel 4.7	Total bobot positif pada <i>hidden layer</i> 8.....	65
Tabel 4.8	Total bobot positif pada seluruh <i>hidden layer</i>	66
Tabel 4.9	Hasil prediksi <i>hidden layer</i> 4.....	67
Tabel 4.10	Analisis Parameter JST <i>Hidden layer</i> 4	67
Tabel 4.11	Hasil prediksi <i>hidden layer</i> 8.....	68
Tabel 4.12	Analisis parameter JST <i>hidden layer</i> 8.....	68
Tabel 4.13	Parameter JST per <i>neuron hidden layer</i>	68
Tabel 4.14	Nilai rata-rata parameter JST <i>hidden layer</i> 8	69
Tabel 4.15	<i>Binary Confusion Matrix</i>	70

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hidung elektronik atau *electronic nose (E-nose)* merupakan instrumen pintar yang dirancang untuk mendeteksi dan membedakan antara bau kompleks menggunakan berbagai sensor. Susunan sensor terdiri dari sejumlah sensor secara luas (*nonspecific*) yang diperlakukan dengan berbagai bahan biologis atau kimia yang sensitif terhadap bau. Instrumen ini memberikan teknik pengambilan sampel yang cepat, sederhana, dan *non-invasif*, untuk mendeteksi dan mengidentifikasi berbagai senyawa volatil atau berbahaya. Fungsi utama hidung elektronik adalah meniru sistem penciuman manusia. Hidung manusia masih dianggap sebagai alat utama yang digunakan dalam industri untuk mengkarakterisasi bau berbagai produk konsumen. Reseptor mamalia telah digantikan oleh transduser gas anorganik atau organik semi-selektif dan sangat sensitif yang berinteraksi dengan cara unik dengan molekul gas individu atau campuran bau kompleks dan mengubah interaksi kimia menjadi sinyal listrik (Lintang *et al.*, 2016).

Biasanya hidung elektronik terdiri dari tiga elemen: susunan sensor yang terpapar volatil, konversi sinyal sensor menjadi format yang dapat dibaca, dan analisis perangkat lunak dari data untuk menghasilkan keluaran karakteristik yang terkait dengan bau yang terdeteksi. Keluaran dari sensor array dapat diinterpretasikan melalui berbagai metode seperti algoritma pengenalan pola, analisis komponen utama, analisis fungsi diskriminan, analisis kluster dan jaringan syaraf tiruan (JST) untuk membedakan antar sampel (Mahmoudi, 2009). Pada penelitian ini akan membangun sistem *e-nose* dengan menggunakan metode JST yaitu *back propagation*.

JST adalah struktur komputer yang dikembangkan berdasarkan proses sistem jaringan saraf biologis di otak. JST merupakan gambaran fungsi otak manusia (neuron biologis) dalam bentuk fungsi matematika yang melakukan proses komputasi paralel. JST fleksibel dalam memasukkan data dan memberikan respon yang konsisten (Hermanto, 2008). JST juga merupakan metode peramalan yang memiliki tingkat kesalahan data yang cukup rendah dan cukup baik dalam proses generalisasi karena didukung oleh data pelatihan yang cukup dan proses pembelajaran yang menyesuaikan bobot sehingga model ini dapat memprediksi deret waktu. Data untuk beberapa periode mendatang. Salah satu metode prediksi yang digunakan pada JST adalah algoritma *back propagation* (Agus *et al.*, 2019).

Back propagation adalah salah satu algoritma pembelajaran JST. Proses pembelajaran *back propagation* dilakukan dengan mengatur bobot jaringan syaraf tiruan berdasarkan nilai error dari proses pembelajaran *back propagation*. Ciri khas *back propagation* melibatkan tiga lapisan (*layer*) utama: (i) lapisan masukan (*input layer*) berfungsi sebagai penghubung jaringan ke dunia luar (sumber data), (ii) lapisan tersembunyi (*hidden layer*) di mana jaringan dapat memiliki lebih dari satu *hidden layer* atau bahkan bisa juga tidak memilikinya sama sekali; dan lapisan luaran (*output layer*) di mana hasil dari masukan yang diberikan oleh *input layer* dengan menggunakan fungsi sigmoid. Keluaran dari pada lapisan ini sudah dianggap sebagai hasil dari proses. *Backpropagation* adalah pembelajaran yang diawasi (*supervised learning*). Disebut pembelajaran terawasi karena teknik pembelajaran diimplementasikan dengan membuat fitur dari data pelatihan untuk mempelajari fungsi pemetaan dari masukan ke keluaran. Dengan kata lain, pembelajaran terbimbing bertujuan untuk memprediksi fungsi pemetaannya sehingga dengan masukan baru, algoritma dapat memprediksi keluaran untuk masukan tersebut (Agus *et al.*, 2019).

Identifikasi pada jenis gas atau uap berbahaya sangat sering ditemui di banyak tempat seperti contohnya pada industri penyulingan minyak dan gas maupun rumah tangga. Hal ini diperlukan karena ada beberapa cairan *volatil* berbahaya yang memiliki bau khas, seperti bensin, solar, minyak tanah dan alkohol. Pada kebocoran gas selain berbahaya karena dapat menyebabkan kebakaran, beberapa cairan seperti

minyak tanah dan premium/bensin juga berbahaya bagi kesehatan. Pernapasan gas/uap secara berkepanjangan atau dalam waktu yang lama dapat menyebabkan iritasi pernapasan dan kanker (Gumelar *et al.*, 2017).

Selama operasi pada *e-nose*, uap bahan kimia dihembuskan melintasi larik, sinyal sensor didigitalkan dan dimasukkan ke dalam komputer, dan JST (diimplementasikan dalam perangkat lunak) kemudian mengidentifikasi bahan kimia tersebut. Waktu identifikasi ini hanya dibatasi oleh waktu respons dari sensor kimia, yang berada di urutan detik. Hidung prototipe ini telah digunakan untuk mengidentifikasi bahan kimia industri maupun rumah tangga biasa melalui baunya (Kalita *et al.*, 2015).

Beberapa peneliti telah mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi berbagai jenis aroma, Gumelar *et al.* (2017) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan deret sensor semikonduktor, yaitu MQ-2, MQ-9, MQ-135 dengan sampel uji yang digunakan kandungan gas alkohol dan bahan bakar pada industri pengolahan minyak. Proses identifikasi jenis gas menggunakan JST yang dibuat terdiri dari 3 *node*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengidentifikasi alkohol, minyak tanah dan bensin dengan tingkat kesalahan 10%.

Fadhillah (2019) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor MQ-3, TGS2600, dan TGS2602 untuk mendeteksi gas etanol sedangkan TGS 2611 dan TGS822 untuk mendeteksi gas metanol. Sistem *e-nose* yang dibangun menggunakan JST dengan metode *back propagation* dan dilatih menggunakan *neuron network* (NN). Sampel uji yang digunakan adalah gas *Volatile Organic Compured* (VOC) pada bau pernapasan pasien penderita penyakit *Diabelitus Melitus* dan orang normal. Hasil penelitian ini dapat membedakan penderita penyakit diabetes dan orang normal dengan *error* pelatihan sebesar 4,713% dengan nilai deviasi sebesar 22,385 ppm, dan nilai ketidakpastian relatifnya sebesar 13,151%.

Miller *et al.* (2021) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan 2 jenis sensor gas MQ-2 dan MQ-135 berbasis Arduino uno. Sampel uji yang digunakan adalah gas *Volatile Organic Compured* (VOC) pada bau pernapasan pasien penderita penyakit

virus korona 2019 dan orang normal. Hasil yang diperoleh dari pengujian menunjukkan jangkauan deteksi dalam bagian per juta dalam kisaran deteksi sensor minimal 10-300 ppm. Respon keluaran dari sensor MQ-2 dan MQ-135 terhadap lingkungan yang beragam dari gas target menunjukkan bahwa MQ-2 memerlukan waktu yang lebih lama untuk menormalkan *drift baseline* dibandingkan dengan sensor MQ-135 karena interferensi silang dengan gas lainnya .

MacÍas-Quijas *et al.* (2022) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor *semikonduktor oksida logam* (MOS) yaitu MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8, dan MQ-135 dengan sampel uji senyawa beracun karbon monoksida, gas mudah terbakar, hidrogen, metana, dan asap. Sistem *e-nose* ini dibangun dengan menggunakan metode diagonalisasi filter atau *filter diagonalization method* (FDM). Hasil awal menunjukkan bahwa prototipe fungsional dan pendekatan FDM cocok untuk tahap klasifikasi selanjutnya. Dapat mendeteksi gas berbahaya mencakup fasilitas dalam ruangan (gedung dan gudang), tempat dengan kualitas udara yang terganggu (tambang dan tempat pembuangan sampah), transportasi umum, robot bergerak, dan jaringan sensor nirkabel.

Hendrick *et al.* (2022) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan 13 sensor gas *metal oxide semiconductor* (MOS) dengan sampel uji buah pisang guna mendeteksi kematangannya. Sistem *e-nose* yang dibangun menggunakan pelatihan JST metode *backpropagation*. Hasil akurasi yang diperoleh dari penggunaan metode *backpropagation* JST untuk 3 kategori (pisang belum matang, pisang matang, dan pisang busuk) adalah 100%, dengan *epoch* 2000.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian mengenai rancang bangun sistem *e-nose* berbasis sensor gas *metal oxide semiconductor* (MOS) menggunakan pelatihan JST metode *backpropagation*. Sensor yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi gas metana, karbon monoksida. Sensor MQ-9 dan TGS2600 untuk mendeteksi gas metana. Sensor MQ-135 untuk mendeteksi kualitas udara. Sampel uji yang digunakan adalah kandungan gas/uap dari berbagai jenis bahan bakar minyak (BBM) seperti minyak tanah , pertalite, pertamax, dan solar dari lingkungan

sekitar. Sebelum digunakan, semua sensor akan diuji tingkat sensitifitasnya masing-masing dengan cara memberikan gas yang mampu dideteksi sensor dengan masukan gas *parts per million* (ppm). Gas sampel akan dianalisis di dalam *chamber* yang terhubung dengan pompa untuk mengontrol gas yang ada di *chamber*. *E-nose* akan dilatih untuk membedakan gas/uap dari berbagai jenis BBM. Data yang diperoleh dari proses pelatihan akan diolah menggunakan JST. Metode JST yang digunakan adalah *backpropagation* yang dibuat menggunakan *Software Matlab*. Setelah *e-nose* berhasil mendeteksi kandungan BBM dari berbagai jenis, maka akan dilakukan pengambilan data pada sampel yang digunakan pada penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka muncul perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana membuat rancang bangun sistem *electronic nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* untuk mengenali jenis gas/uap pada BBM?.
2. Bagaimana menganalisa proses JST untuk mengenali jenis gas/uap dari BBM pada *e-nose*?
3. Bagaimana membuat sistem *e-nose* yang mampu membedakan jenis gas/uap dari BBM?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat rancang bangun sistem *electronic nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* untuk mengenali jenis gas/uap pada BBM.
2. Menganalisa proses JST untuk mengenali jenis gas/uap dari BBM pada *e-nose*.
3. Membuat sistem *e-nose* yang mampu membedakan jenis gas/uap dari BBM.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terealisasinya rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* untuk mengidentifikasi jenis gas/uap pada bahan bakar minyak dengan berbagai konsentrasi.
2. Sebagai alat alternatif yang dapat mendeteksi gas/uap pada bahan bakar minyak.
3. Sebagai referensi pengembangan alat *e-nose* kedepannya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Metode JST yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *back propagation*;
2. *E-nose* dilatih untuk dapat mengidentifikasi dan membedakan jenis dari kandungan uap pada BBM.
3. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah uap dari BBM.
4. Sampel BBM yang digunakan yaitu minyak tanah, solar, pertalite, dan pertamax.
5. Penelitian hanya terbatas pada perkembangan bau yang ada pada sampel.
6. Sensor yang digunakan adalah MQ-2, MQ-9, MQ-135 dan TGS-2600.

II. TINJAUAN PUSTAKA

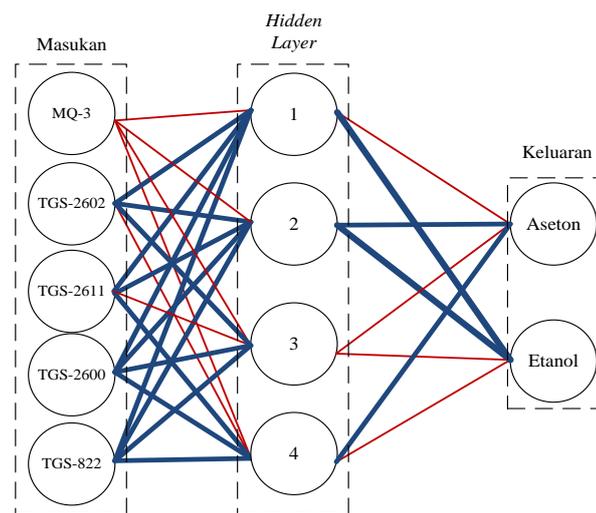
2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini mendeteksi berbagai jenis gas/uap menggunakan *array* sensor gas telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti, masing-masing memiliki karakteristik dan tujuan yang berbeda. Beberapa diantaranya digunakan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Gumelar *et al.* (2017) telah melakukan penelitian untuk Identifikasi kandungan gas atau uap yang diperlukan pada banyak bidang aplikasi terutama pada industri pengolahan minyak dan gas. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya beberapa cairan berbahaya yang mudah menguap dengan bau yang khas seperti minyak bahan bakar dan alkohol. Sistem ini menggunakan deret sensor semikonduktor yang berbeda yaitu MQ-2, MQ-9 dan MQ-135. Peralatan ini dilengkapi teknologi yang berbasis internet of things dengan menggunakan *single board computer* Raspberry Pi 3. Proses identifikasi jenis gas menggunakan *neural network* yang dibuat terdiri dari 3 node pada *input layer*, 5 neuron pada *hidden layer* pertama, 5 neuron pada *hidden layer* kedua dan 1 neuron pada *output layer*.

Hasil yang didapat pada penelitian yaitu bahwa sistem dapat mendeteksi dan mengenali uap bensin, minyak tanah dan alkohol dengan tingkat keberhasilan 90%. Sistem ini diharapkan dapat mengurangi resiko kebakaran, ledakan, gangguan kesehatan dan pencemaran lingkungan (Gumelar *et al.*, 2017).

Fadhilillah (2019) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor MQ-3, TGS 2600, TGS2602 untuk mendeteksi gas etanol sedangkan TGS 2611 dan TGS 822 untuk mendeteksi gas metanol. Sampel uji yang digunakan adalah gas *Volatile Organic Compured* (VOC) pada bau pernapasan pasien penderita penyakit *Diabelitus Melitus* dan orang normal. Sistem *e-nose* penelitian ini menggunakan JST dengan metode *back propagation*. Pelatihan dilakukan dengan melatih neuron menggunakan data kalibrasi sensor. Hasil bobot pelatihan JST untuk membedakan antara penderita penyakit diabetes dengan orang sehat ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Arsitektur JST (Fadhilillah,2019).

Jika diperhatikan pada besar nilai bobot pada arsitektur JST dengan dengan mengabaikan nilai positif dan negatif, maka sensor yang memiliki pengaruh lebih besar terhadap hasil keluaran secara berurutan, yaitu TGS 2611, TGS 2602, TGS 2600, dan MQ-3. Selain itu kedua *hidden layer* berhasil mengklarifikasi sensor metanol dan etanol dengan *error* 2,64%, nilai standar deviasi sebesar 12,952 ppm, dan nilai ketidakpastian relatifnya sebesar 18,166%. Sistem juga mampu membedakan penderita penyakit diabetes dan orang normal dengan *error* pelatihan sebesar 4,713% dengan nilai deviasi sebesar 22,385 ppm, dan nilai ketidakpastian relatifnya sebesar 13,151% (Fadhilillah, 2019).

Miller *et al.* (2021) telah melakukan penelitian untuk memperoleh sistem pendeteksian dengan metode deteksi alkohol, aseton, dan karbon monoksida pada

model simulasi napas *coronavirus disease* 2019 dan menggunakan 2 jenis sensor gas MQ-2 dan MQ-135 juga Arduino uno. Tujuan dari penelitian adalah agar teknologi *electronic nose* untuk mendeteksi perubahan yang terkait dengan patogenesis penyakit seperti biomarker respons imun untuk gejala pernapasan, cedera sistem saraf pusat, dan/atau cedera sistem saraf tepi pada napas dan/atau bau seseorang. Dalam makalah ini, desain hidung elektronik dikonfigurasi untuk mendeteksi konsentrasi sampel simulasi napas COVID-19 dari campuran alkohol, aseton, dan karbon monoksida.

Pada prinsip kerja pada alat *e-nose* dalam penelitian ini, setelah pemanasan awal selama 24 jam, sampel dibawa ke kandung kemih internal bejana pengumpul untuk dianalisis dan data dikumpulkan dari tiga sensor untuk menentukan kesesuaian sensor ini untuk aplikasi analisis napas yang dihembuskan. Hasil yang diperoleh dari pengujian menunjukkan jangkauan deteksi dalam bagian per juta dalam kisaran deteksi sensor minimal 10-300 ppm. Respons output dari sensor MQ-2 dan MQ-135 terhadap lingkungan yang beragam dari gas target menunjukkan bahwa MQ-2 memerlukan waktu yang lebih lama untuk menormalkan *drift baseline* dibandingkan dengan sensor MQ-135 karena pada interferensi silang dengan gas lainnya. Sampel simulasi napas COVID-19 dibuat dan divalidasi berdasarkan data awal yang diperoleh dari studi napas paralel COVID-19 yang berbasis di Edinburgh dan Dortmund. Metode deteksi ini memberikan deteksi gas *non-invasif*, cepat, dan selektif dalam berbagai aplikasi dalam deteksi virus serta keamanan pertanian dan dalam negeri (Miller *et al.*, 2021).

Macías-Quijas *et al.* (2022) telah melakukan penelitian mengenai perangkat hidung elektronik atau *electronic nose (e-nose)* yang ringkas dan terjangkau yang dikhususkan untuk mendeteksi keberadaan senyawa beracun yang dapat memengaruhi kesehatan manusia, antara lain karbon monoksida, gas yang mudah terbakar, hidrogen, metana, dan asap. Perangkat penciuman buatan tersebut terdiri dari susunan enam sensor semikonduktor oksida logam (MOS) yaitu MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8, dan MQ-135 dan juga terdapat sistem informasi berbasis komputer untuk akuisisi, pemrosesan, dan visualisasi sinyal. Responsnya dapat dibagi dalam tiga wilayah waktu: nilai referensi (*baseline*), waktu naik, dan waktu

reset. Pada penelitian ini menggunakan metode diagonalisasi filter atau *filter diagonalization method (FDM)* untuk mengekstrak isi spektral dari sinyal yang diperoleh dari sensor. Metode diagonalisasi *filter (FDM)* diimplementasikan untuk menghitung harmonik yang terlibat dalam sinyal yang diperoleh. Algoritme menunjukkan presisi tinggi menggunakan jumlah sampel yang rendah.

Pada penelitian ini terdapat hasil awal yang menunjukkan bahwa prototipe fungsional dan pendekatan *FDM* cocok untuk tahap klasifikasi selanjutnya. Contoh skenario penerapan *e-nose* yang diusulkan mencakup fasilitas dalam ruangan (gedung dan gudang), tempat dengan kualitas udara yang terganggu (tambang dan tempat pembuangan sampah), transportasi umum, robot bergerak, dan jaringan sensor nirkabel (MacÍas-Quijas *et al.*, 2022).

Hendrick *et al.* (2022) telah melakukan penelitian mengenai penggunaan *e-nose* untuk mendeteksi tingkat kematangan buah pisang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kematangan buah karena pada dasarnya tidak bisa membedakan antara pisang matang dan pisang yang masih dalam tahap awal karena memiliki warna dan aroma yang hampir sama. Maka dirancanglah suatu sistem yang menyerupai indra penciuman manusia untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah secara akurat yaitu hidung elektronik atau *electronic nose (e-nose)*. Perancangan *e-nose* akan dilakukan dengan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan yaitu *backpropagation*. Sistem *e-nose* dibagi menjadi bagian perangkat, bagian server, dan metode pembelajaran mesin. Bagian perangkat terdiri dari mikrokontroler dan rangkaian sensor. Selanjutnya data diolah di *server* dan hasil prediksi diperoleh dari metode *mechine learning*.

Hasil yang diperoleh dari aplikasi *e-nose* untuk mendeteksi tingkat kematangan buah pisang dengan metode jaringan syaraf tiruan *backpropagation*, yaitu alat yang mampu memprediksi kondisi kematangan buah pisang yang diuji sehingga diperoleh prediksi dan prediksi yang akurat. hasilnya ditampilkan di *website*. Hasil akurasi yang diperoleh dari penggunaan metode *backpropagation* jaringan syaraf tiruan untuk 3 kategori (pisang belum matang, pisang matang, dan pisang busuk) adalah 100%, dengan epoch 2000 (Hendrick *et al.*, 2022).

2.2 Teori Dasar

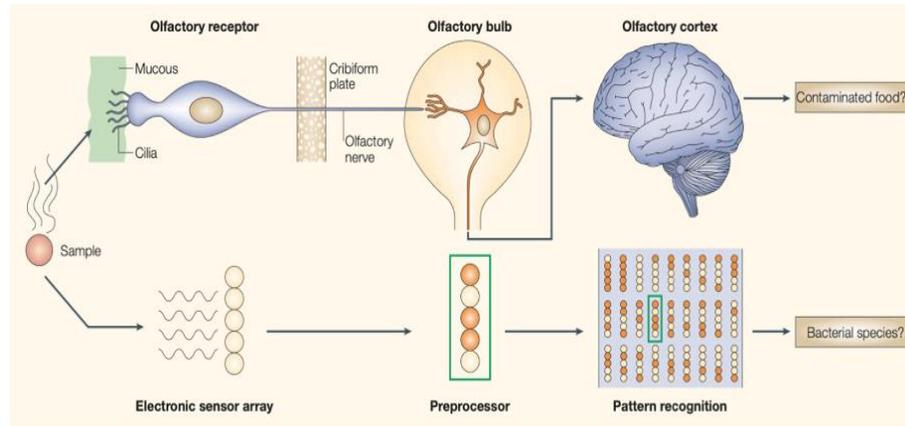
2.2.1 Electronic Nose

Sistem penciuman elektronik yang dibangun dengan model hidung diusulkan untuk pertama kalinya untuk meniru mekanisme penciuman biologis tahun 1982, yang menyajikan dua asumsi kunci dari sistem penciuman mamalia: Tidak perlu transduser khusus bau; sinyal bau dari transduser dapat dipelajari. Fitur utama dari model hidung adalah bahwa detektor bau (yaitu, neuron primer) merespons berbagai bahan kimia. Pada tahun 1994, Gardner dkk. menunjukkan definisi baru untuk sistem penciuman buatan: "Hidung elektronik adalah instrumen, terdiri dari berbagai sensor kimia dengan spesifisitas parsial dan sistem pengenalan pola yang sesuai, yang mampu mengenali bau sederhana atau kompleks." Dengan kata lain, hidung elektronik atau *electronic nose (E-nose)* dapat dikenali sebagai sistem susunan sensor cerdas untuk meniru fungsi penciuman biologis (Zhang *et al.*, 2018).

Hidung elektronik dirancang untuk meniru indera penciuman manusia dengan memberikan analisis bahan kimia atau campuran kimia individu. Mereka menawarkan cara yang efisien untuk menganalisis dan membandingkan bau. Hidung elektronik belum mencapai kemampuan untuk menguraikan bau menjadi komponen kimianya. *E-nose* terutama mendeteksi dan membedakan antara aroma yang sebelumnya dipelajari.

Hidung elektronik pada dasarnya mencoba meniru komponen utama hidung mamalia. Proses dasar yang harus terjadi pada hidung mamalia untuk mendeteksi dan mengidentifikasi bau dapat diringkas sebagai berikut:

- a. Mengendus
- b. penerimaan dan pengikatan
- c. stimulasi
- d. pengiriman
- e. pengakuan
- f. tindakan
- g. pembersihan



Gambar 2. 2 Analogi antara sistem penciuman manusia dan *E-nose* (Ye *et al.*, 2021).

E-nose dikembangkan dengan karakteristik seperti perangkat yang murah, cepat, dan portabel yang mampu mengukur campuran kompleks senyawa volatil. Realisasi *e-nose* dimungkinkan dengan menggunakan sistem penciuman manusia sebagai paradigma. Ada beberapa sensor yang khusus untuk senyawa atau kelas senyawa tertentu, tetapi menggunakan sensor khusus senyawa untuk memantau perubahan udara pernapasan adalah tugas yang melibatkan penggunaan beberapa ratus sensor. Selain itu, sensor senyawa khusus tunduk pada gangguan dari molekul struktur yang mirip dengan molekul target. Instrumen analitik seperti kromatografi gas—spektrometri massa (GC-MS) memiliki banyak kemampuan, tetapi tidak praktis untuk pemantauan berkelanjutan. Bekerja pada *e-nose* dirancang untuk mengisi kesenjangan antara individu, perangkat kimia tertentu dan instrumen analitis seperti GC-MS yang memiliki kemampuan multi-senyawa.

Di sebagian besar aplikasi *E-nose* ada seperangkat sifat yang diinginkan yang cenderung umum.

- Respons cepat: Sensor harus dapat merespons dan pulih dari paparan bau dalam waktu yang dapat diterima. Ini sangat penting dalam aplikasi yang mengintegrasikan *E-nose* dengan sistem robotik, seperti robot bergerak yang harus bergerak di lingkungan dan mengukur gradien bau.
- Konsumsi daya rendah: Pada sebagian besar sistem realistis terdapat daya, dan karenanya konsumsi daya sensor harus relatif rendah. *Headspace*, yang berisi susunan sensor kemungkinan melibatkan peralatan listrik lainnya seperti pompa dan katup yang sering berbagi catu daya yang sama.

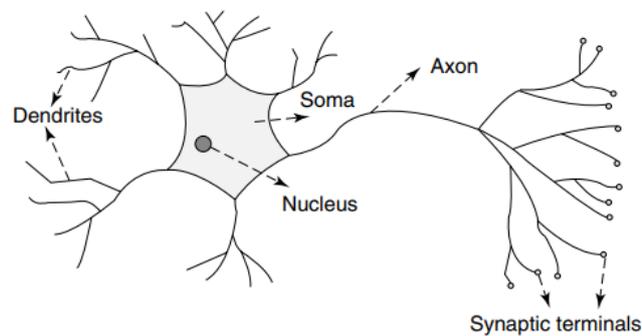
- c. Ukuran ringkas: Ukuran sensor yang lebih kecil memfasilitasi integrasi sensor di berbagai platform, termasuk *E-nose* portabel.
- d. Sensitivitas tinggi: Sensor harus menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap bau yang berbeda dan konsentrasi yang berbeda dari bau yang sama.
- e. Keandalan: Sensor gas harus berperilaku seperti yang diharapkan terutama dalam jangka waktu yang lama.
- f. Kekokohan: Efek yang tidak diinginkan, dari kelembapan dan gerakan fisik, tidak boleh mengganggu hasil pembacaan sensor (Patel *et al.*, 2014).

Sistem hidung elektronik biasanya terdiri dari array multisensor, unit pemrosesan informasi seperti jaringan syaraf tiruan (JST), perangkat lunak dengan algoritma pengenalan pola digital, dan *database*. Array sensor lintas-reaktif terdiri dari sensor yang berbeda secara bertahap yang dipilih untuk merespons berbagai kelas kimia dan membedakan beragam campuran analit yang mungkin. Keluaran dari masing-masing sensor dikumpulkan dan diintegrasikan secara kolektif untuk menghasilkan pola respons digital yang berbeda. Identifikasi dan klasifikasi campuran analit dilakukan melalui pengenalan tanda aroma unik ini (sidik jari elektronik) dari respon sensor kolektif. Identitas campuran sederhana atau kompleks yang diwakili oleh pola tanda aroma yang unik dapat ditentukan tanpa harus memisahkan campuran tersebut menjadi komponen individualnya sebelum atau selama analisis. Pustaka referensi pola tanda tangan aroma digital untuk sampel yang diketahui dibuat sebelum analisis yang tidak diketahui. JST dikonfigurasi melalui proses pembelajaran (pelatihan jaringan saraf) menggunakan algoritma pengenalan pola yang mencari perbedaan antara pola semua jenis analit yang termasuk dalam pustaka referensi. Proses ini berlanjut hingga tingkat diskriminasi yang dipilih sebelumnya terpenuhi. Hasilnya divalidasi dan dirangkai menjadi pustaka referensi yang dapat dibandingkan dengan sampel yang tidak diketahui (Wilson, 2009).

2.2.2 Jaringan Syaraf Tiruan

Pada jaringan saraf tiruan, biasanya disebut sebagai "jaringan syaraf", telah didorong sejak awal oleh pengakuan bahwa otak manusia menghitung dengan cara yang sama sekali berbeda dari komputer digital konvensional. Otak adalah

komputer (sistem pemrosesan informasi) yang sangat kompleks, non-linear, dan paralel, yang memiliki kemampuan untuk mengatur konstituen strukturalnya, yang dikenal sebagai neuron, untuk melakukan perhitungan tertentu (misalnya, pengenalan pola, persepsi, dan kontrol motorik) berkali-kali lebih cepat daripada komputer digital tercepat yang ada saat ini. Ini adalah fungsi dari sistem visual untuk memberikan gambaran tentang lingkungan di sekitar kita dan yang lebih penting, untuk menyediakan informasi yang kita butuhkan untuk berinteraksi dengan lingkungan. Secara khusus, otak secara rutin melakukan tugas-tugas pengenalan perseptual (mis. mengenali wajah yang dikenal yang disematkan dalam pemandangan yang tidak dikenal) dalam waktu sekitar 100-200 ms, sedangkan tugas dengan kompleksitas yang lebih rendah dapat memakan waktu beberapa hari di komputer konvensional (Haykin, 2005).

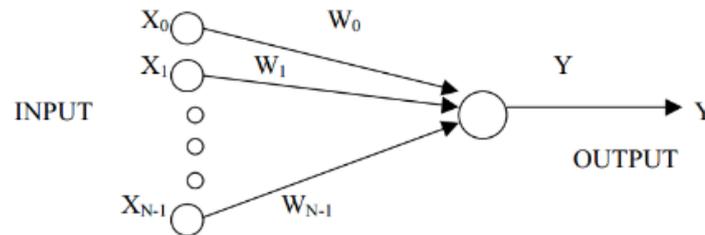


Gambar 2. 3 Neuron mamalia (Krogh, 2008).

Jaringan saraf tiruan terinspirasi oleh model awal pemrosesan sensorik oleh otak. Jaringan saraf tiruan dapat dibuat dengan mensimulasikan jaringan neuron model di komputer. Dengan menerapkan algoritme yang meniru proses neuron nyata, kita dapat membuat jaringan 'belajar' untuk menyelesaikan banyak jenis masalah (Krogh, 2008).

Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah salah satu teknik kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) terpenting yang meniru kemampuan otak manusia dan memiliki aplikasi di berbagai bidang. Menurut Haykin, JST adalah sejumlah besar prosesor yang didistribusikan secara paralel, terdiri dari *unit* pemrosesan sederhana, yang masing-masing cenderung menyimpan pengetahuan yang berpengalaman dan dapat digunakan kembali.

Menurut Kevin Gurney, JST adalah susunan elemen, unit, atau *node* pemrosesan sederhana yang saling berhubungan, yang fungsinya didasarkan pada neuron hewan. Keterampilan pemrosesan jaringan disimpan dalam satuan kekuatan koneksi, atau bobot, yang diperoleh dengan menyesuaikan atau belajar dari serangkaian pola pelatihan. **Gambar 2.4** menunjukkan model neuron.



Gambar 2.4 Model Sebuah Neuron (Gumelar *et al.*, 2017).

Elemen pemrosesan dasar jaringan saraf disebut neuron buatan, atau hanya neuron atau node. Dalam model matematika neuron yang disederhanakan, efek sinapsis diwakili oleh bobot koneksi yang memodulasi efek sinyal *input* terkait, dan karakteristik *nonlinier* yang ditunjukkan oleh neuron diwakili oleh fungsi transfer. Impuls neuron kemudian dihitung sebagai jumlah tertimbang dari sinyal *input*, diubah oleh fungsi transfer. Kemampuan belajar dari neuron buatan dicapai dengan menyesuaikan bobot sesuai dengan algoritma pembelajaran yang dipilih (Abraham, 2011).

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

1. Pendekatan 1

Jumlah total neuron *hidden layer* sama dengan jumlah keseluruhan neuron *input* lapisan. Pendekatan 1 dihitung berdasarkan **Persamaan (2.1)**.

$$Z = X \quad (2.1)$$

2. Pendekatan 2

Jumlah total neuron *hidden layer* sama dengan jumlah total neuron *output* layer. Pendekatan 2 dihitung berdasarkan **Persamaan (2.2)**.

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

3. Pendekatan 3

Jumlah total neuron *hidden layer* sama dengan jumlah neuron *layer input* ditambah dengan neuron *output layer*. Pendekatan 3 dihitung berdasarkan **Persamaan (2.3)**.

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

Evaluasi kinerja JST dilakukan menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* merepresentasikan hasil prediksi dan kondisi sebenarnya dari data yang dihasilkan oleh JST, berdasarkan *confusion matrix* akan diketahui nilai *True Negative* (TN), *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.

1. Akurasi

Akurasi merupakan rasio prediksi benar (TN) dan (TP) terhadap total data. Akurasi dihitung menggunakan **Persamaan (2.4)**.

$$AC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\% \quad (2.4)$$

2. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan rasio prediksi benar positif (TP) terhadap data benar positif (TP) dan salah negatif (FN). Sensitivitas dihitung menggunakan **Persamaan (2.5)**.

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

3. Spesifisitas

Spesifisitas merupakan rasio prediksi benar negatif (TN) terhadap data benar negatif (TN) dan salah positif (FP). Spesifisitas dihitung menggunakan **Persamaan (2.6)**.

$$SN = \frac{TN}{TN+FP} \times 100\% \quad (2.6)$$

4. Presisi

Presisi merupakan rasio prediksi benar positif (TP) terhadap data benar positif (TP) dan salah positif (FP). Presisi dihitung menggunakan **Persamaan (2.7)**.

$$PR = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (2.7)$$

5. Prediksi Negatif

Prediksi negatif merupakan rasio prediksi benar negatif (TN) terhadap data benar negatif (TN) dan salah negatif (FN). Prediksi negatif dihitung menggunakan **Persamaan (2.8)**.

$$PN = \frac{TN}{TN+FN} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan:

AC	= Akurasi
SN	= Sensitivitas
SP	= Spesifisitas
PR	= Presisi
PN	= Prediksi Negatif
TP (<i>True Positive</i>)	= Jumlah prediksi yang benar dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji
TN (<i>True Negative</i>)	= Jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji
FP (<i>False Positive</i>)	= Jumlah prediksi yang bernilai benar dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji
FN (<i>False Negative</i>)	= Jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji.

2.2.3 Metode *Backpropagation*

Algoritma pembelajaran *back propagation* yang disebutkan sebelumnya berfungsi untuk jaringan *feed-forward* dengan keluaran berkelanjutan. Pelatihan dimulai dengan mengatur semua bobot dalam jaringan ke angka acak kecil. Sekarang, untuk setiap contoh masukan, jaringan memberikan keluaran, yang dimulai secara acak. Diukur perbedaan kuadrat antara *output* ini dan *output* yang diinginkan kelas atau nilai yang benar. Jumlah dari semua contoh pelatihan keseluruhan nomor ini disebut kesalahan total jaringan. Jika angka ini nol, jaringan akan sempurna, dan semakin kecil kesalahannya, semakin baik jaringannya. Dengan memilih bobot yang

meminimalkan kesalahan total, seseorang dapat memperoleh jaringan saraf yang paling baik memecahkan masalah yang dihadapi (Krogh, 2008).

Backpropagation memiliki ciri yang unik yaitu setelah dilakukan propagasi maju akan dilakukan propagasi mundur untuk melakukan perbaikan bobot, kemudian dilakukan perubahan bobot, proses ini dilakukan terus menerus sampai mencapai batas iterasi atau minimum *error* yang ditentukan (Jauhari dkk., 2016).

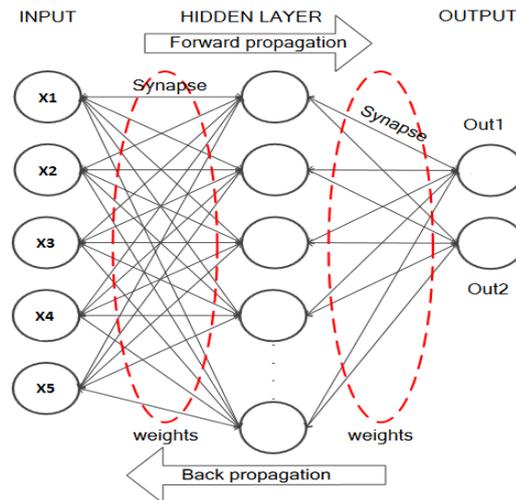
Secara garis besar pelatihan jaringan dengan metode *backpropagation* meliputi tiga tahapan.

- a. Tahap maju (*feedforward*): Tahap *feedforward* adalah proses pengolahan pola *input training* pada lapisan masukan hingga respon yang dihasilkan mencapai output layer.
- b. Tahap perhitungan error propagasi balik (*backpropagation of error*) Jika kriteria untuk kondisi berhenti tidak terpenuhi, masuk ke tahap ketiga (*adjustment of the weights and biases*). Namun, jika kondisi berhenti terpenuhi, proses penghitungan berhenti.
- c. Tahap pembaharuan bobot dan bias (*adjustment of the weights and biases*) 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).

Metode *backpropagation* memiliki keunggulan kemampuan bersifat *adaptive* (kumpulan data dapat disesuaikan) dan *fault tolerance* (kesalahan error kecil) yang dapat menyelesaikan masalah dalam sistem (Razak, 2017).

Dibawah ini merupakan Struktur *perceptron multilayer* dari jaringan saraf yang dirancang, yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.5 Struktur perceptron *multilayer* dari JST *backpropagation* (Gunawan *et al.*, 2019).

Arsitektur *backpropagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang didefinisikan, seperti sigmoid pada **Persamaan (2.9)**:

$$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.9)$$

Atau tanh:

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

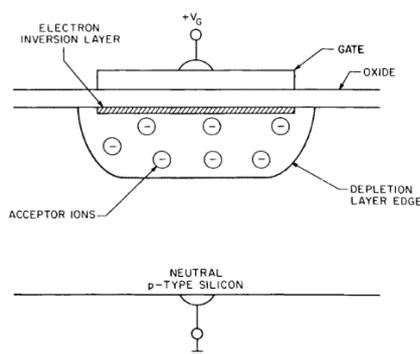
(Ritonga & Atmojo, 2018).

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

- Nilai dikirim melalui lapisan masukan ke lapisan tersembunyi (diteruskan) ke lapisan keluaran (keluaran aktual);
- Bandingkan keluaran aktual dengan keluaran yang diharapkan, jika terdapat perbedaan ditunjukkan sebagai kesalahan;
- Kemudian mengirimkan error dari *output layer* kebelakang ke *hidden layer*, lalu meneruskan ke *input layer* (Kurniawansyah, 2018).

2.2.4 Metal Oxide Semiconductor (MOS)

Metal Oxide Semiconductor (MOS) atau Semikonduktor Oksida Logam adalah teknologi yang paling banyak digunakan untuk hidung elektronik (*e-nose*), dan bahan penginderaan MOS yang paling umum adalah oksida logam atau semikonduktor termasuk, timah dioksida, oksida seng, oksida besi, titanium dioksida, oksida nikel, oksida kobalt. Bahan penginderaan dilapisi ke substrat keramik, seperti alumina. Biasanya, perangkat juga memiliki elemen pemanas (Burgués, 2018). **Gambar 2.6** menunjukkan penampang kapasitor MOS bias ke inversi menunjukkan lapisan inversi, lapisan penipisan, dan curah netral.



Gambar 2. 6 Penampang kapasitor MOS bias ke inversi menunjukkan lapisan inversi, lapisan penipisan, dan curah netral (Pakma, 2012).

Semikonduktor oksida logam (MOS) banyak digunakan untuk membuat *array* untuk penginderaan bau, tetapi banyak dari mereka menunjukkan sensitivitas gas dalam kondisi yang sesuai. Prinsip dasar sensor semikonduktor oksida logam (MOS) ketika konsentrasi oksigen adalah konsentrasi 0% dan suhu bahan timah dioksida mencapai 400 °C, elektron akan melintasi batas hijau. Di udara bersih, elektron donor dalam timah dioksida tertarik ke arah oksigen yang mencegah aliran arus listrik. Jika sensor terkena gas reduksi, densitas permukaan oksigen yang diserap berkurang karena reaksi gas reduksi. Elektron akan mudah mengalir dalam timah dioksida dan memungkinkan arus mengalir bebas melalui sensor. Reaksi kimia dari gas dan oksigen yang teradsorpsi pada permukaan lapisan oksida timah bervariasi, tergantung pada reaktivitas bahan penginderaan dan kondisi suhu sensor. Konsentrasi gas di udara dapat dideteksi dengan mengukur perubahan resistansi sensor gas semikonduktor oksida logam (Gunawan *et al.*, 2019).

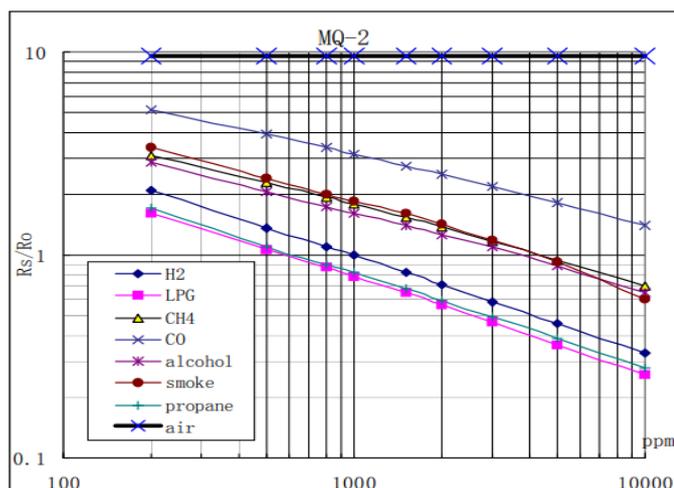
Kerugian utama dari rangkaian sensor MOS adalah bahwa perangkat harus beroperasi pada suhu antara 150 dan 400 °C (Nazemi *et al.*, 2019). Oleh karena itu, mereka mengkonsumsi banyak energi dan membutuhkan waktu yang relatif lama untuk pemanasan sebelum mereka siap untuk melakukan pengukuran.

2.2.5 Sensor yang Digunakan

Sebelum sensor digunakan untuk melakukan monitoring kualitas udara, sensor akan dikarakterisasi terlebih dahulu agar sensor dapat membaca sesuai dengan alat ukur yang sebenarnya. Dimulai dengan membaca nilai *analog to digital converter* (ADC) pada sensor, perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana alat yang digunakan mendekati nilai 1 dengan alat ukur yang dijadikan sebagai acuan. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis sensor gas yang berbeda yaitu sensor gas MQ-2, MQ-9, MQ-135, dan TGS-2600.

2.2.5.1 Sensor MQ-2

Modul Sensor MQ2 merupakan sebuah Sensor yang dapat mendeteksi adanya polutan Gas di udara, diantaranya adalah Gas LPG, Alkohol, Asap, Propana, Hidrogen, Metana, dan Karbon Monoksida, aplikasinya bisa diterapkan untuk mendeteksi Kebocoran Gas LPG dan Asap untuk mencegah kebakaran, Sebagai Alat untuk mengukur Kadar Alkohol yang dikeluarkan dari napas seseorang dan lain-lain. Sensor MQ-2 dilengkapi fitur, yaitu cakupan pendeteksian yang luas, respon cepat dan sensitivitas tinggi, stabil dan sensitivitas tinggi, stabil dan umur panjang, serta sirkuit penggerak sederhana. Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.

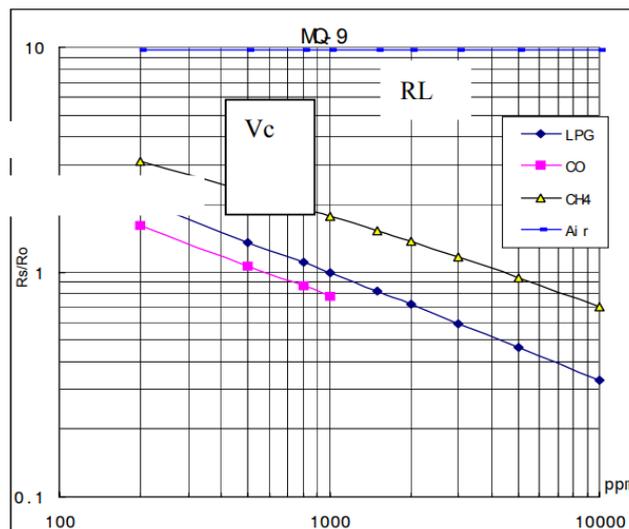


Gambar 2. 7 Kurva karakteristik sensitivitas sensor MQ-2 (Datasheet, 2006a).

Gambar 2.7 menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-2 untuk beberapa gas. Grafik di atas 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 seperti nilai R_s , R_0 , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik.

2.2.5.2 Sensor MQ-9

Sensor MQ-9 merupakan sensor gas yang bekerja pada tegangan 5V AC ataupun DC. Sensor ini dapat mendeteksi kebocoran tabung gas dan paling sensitif dengan gas Karbon Monoksida. Sensor MQ-9 ini dapat mendeteksi beberapa gas, yakni Metana, LPG, CO dan gas mudah terbakar. Rangkaian dasar sensor MQ-9 seperti pada Gambar (Gunawan *et al.*, 2019). Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

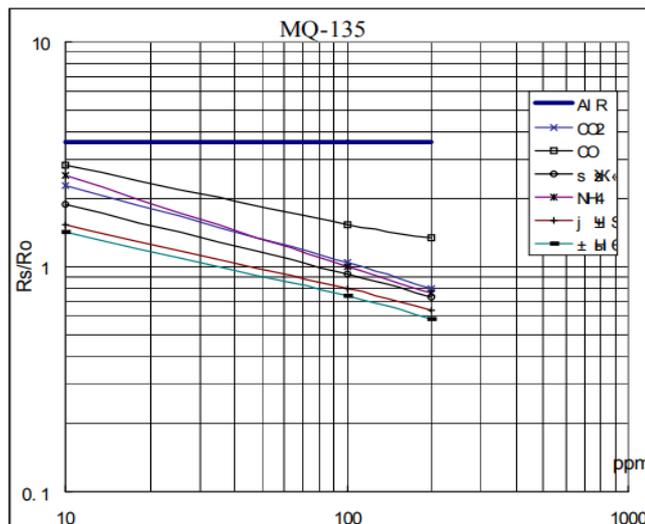


Gambar 2.8 Kurva karakteristik sensitivitas sensor MQ-9 (Datasheet, 2006b).

Pada **Gambar 2.8** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-9 untuk beberapa gas. Grafik di atas 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 seperti nilai R_s , R_o , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik.

2.2.5.3 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah jenis sensor kimia yang sensitif terhadap senyawa NH₃, NO_x, alkohol, benzol, asap (CO), CO₂, dan lain-lain. Sensor ini bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistansi (analog) bila terkena gas. Sensor ini memiliki daya tahan yang baik untuk penggunaan penanda bahaya polusi karena praktis dan tidak memakan daya yang besar. Penyesuaian sensitivitas sensor ditentukan oleh nilai resistansi dari MQ-135 yang berbeda-beda untuk berbagai konsentrasi gas-gas (Rosa *et al.*, 2020). Sensor MQ-135 memiliki beberapa fitur yaitu cakupan pendeteksian luas, respon cepat dan sensitivitas tinggi, stabil dan umur panjang, serta sirkuit penggerak sederhana. Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.

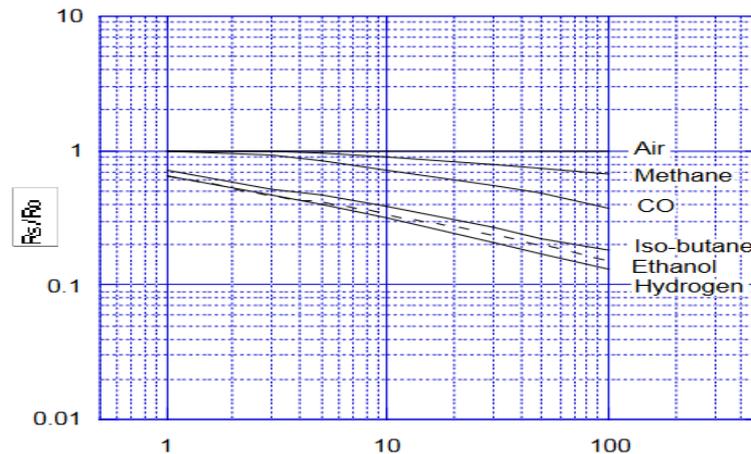


Gambar 2.9 Kurva karakteristik sensitivitas sensor MQ-135 (Datasheet, 2014).

Pada **Gambar 2.9** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-135 untuk beberapa gas. Grafik di atas 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 seperti nilai R_s , R_o , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik.

2.2.5.4 Sensor TGS-2600

Sensor TGS 2600 adalah sensor utama yang digunakan dan merupakan sebuah sensor kimia atau sensor gas. TGS 2600 memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap gas karbon monoksida (Sa'diyah *et al.*, 2014). Sensor ini memiliki nilai resistansi yang akan berubah bila terkena gas dan juga memiliki sebuah pemanas (*heater*) yang digunakan untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar (Widodo, 2019). Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

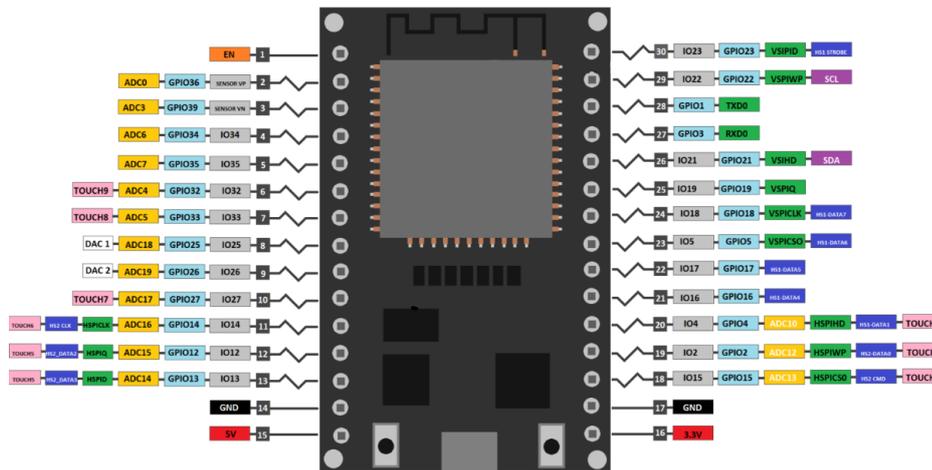


Gambar 2. 10 Karakteristik sensitivitas umum sensor TGS2600 (Datasheet, 2017).

Pada **Gambar 2.10** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas TGS-2600 untuk beberapa gas. Grafik di atas 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 seperti nilai R_s , R_0 , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik.

2.2.6 Node MCU ESP 32

NodeMCU ESP 32 salah satu mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Espressive system* sebagai penerus mikrokontroler ESP8266. Mikrokontroler ini sudah memiliki modul Wi-Fi bawaan, sehingga ideal untuk membangun sistem aplikasi *Internet of Things*. ESP32 menggunakan bahasa pemrograman *Lua* untuk membantu dalam *sketch* dengan Arduino IDE. Pengembangan kit didasarkan pada modul ESP-WROOM-32, yang mengintegrasikan GPIO (*General Purpose Input Output*), I2C, 1-Wire dan 2 ADC dengan resolusi 8-bit, *Wi-fi* 802.11/b/g/n, *Bluetooth* V4.2, *Ethernet* dan *dual core* 32-bit *Lx microprocessor* semua dalam satu *board* (Indrawan *et al.*, 2020). Diagram pin pada NodeMCU ESP32 ditunjukkan pada **Gambar 2.11**



Gambar 2. 11 Diagram Pin NodeMCU ESP32 (Prasad, 2019).

Gambar 2. 11 menjelaskan pin *out* ESP32 memiliki 34 pin GPIO, dimana fungsi yang berbeda dapat ditetapkan dengan mengkonfigurasi register yang relevan GPIOs pada NodeMCU ESP32 dibagi menjadi empat kategori: *digital-only*, *analog-enabled*, *capacitive touch-enabled*, dan lainnya. GPIO *capacitive touch-enabled* Z_d dan *analog-enabled* dapat diatur sebagai GPIO digital. Karena modul ESP32S mencakup ADC 12-bit yang memungkinkan pengukuran pada 18 saluran (pin *analog-enabled*), sehingga pin 15 hingga 18 dapat dihubungkan sensor ke modul ESP32 (Prasetyawan *et al.* , 2021).

2.2.7 Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) adalah teknik analisis data multivariat tertua dan paling dikenal. Ini pertama kali diciptakan oleh Pearson (1901), dan dikembangkan secara mandiri oleh Hotelling (1933). Seperti banyak metode multivariat lainnya, itu tidak diterima secara luas atau digunakan sampai munculnya komputer elektronik, tetapi sekarang tertanam dengan baik di hampir setiap paket perangkat lunak statistik. *Principal Component Analysis* (PCA) adalah nama umum untuk teknik yang menggunakan prinsip matematika dasar yang canggih untuk mengubah sejumlah variabel yang mungkin berkorelasi menjadi sejumlah kecil variabel yang disebut komponen utama. Asal-usul PCA terletak pada analisis data multivariat; Namun, ia memiliki berbagai macam aplikasi lain (Mishra *et al.*, 2017).

Tujuan PCA adalah untuk menjelaskan jumlah maksimum varians dengan jumlah komponen utama yang paling sedikit. Ini digunakan untuk mengurangi jumlah variabel dan menghindari multikolinearitas atau banyak prediktor relatif terhadap jumlah pengamatan. Ini adalah teknik statistik yang berguna yang telah menemukan aplikasi di bidang-bidang seperti pengenalan wajah dan kompresi gambar dan merupakan teknik umum untuk menemukan pola dalam data berdimensi tinggi. Dan juga biasa digunakan dalam ilmu sosial, riset pasar, dan industri lain yang melibatkan kumpulan data besar.

Keuntungan utama PCA adalah mengurangi jumlah dimensi, tanpa banyak kehilangan informasi. Konsep Dasar PCA.

1. Pengurangan dimensi. Ini mengurangi data menjadi komponen dasarnya, menghapus bagian yang tidak perlu.
2. vektor Eigen. Arah.
3. Nilai eigen adalah angka. Memberitahu Anda berapa banyak varians yang ada pada data ke arah itu (Payla, 2018).

Analisis komponen utama adalah prosedur matematis yang mengubah sejumlah (mungkin) variabel berkorelasi menjadi sekumpulan kecil variabel tidak berkorelasi yang disebut komponen utama. Sebagai salah satu metode analisis faktor yang efektif, PCA banyak digunakan untuk mengurangi jumlah variabel yang diteliti, dan akibatnya pemeringkatan dan analisis unit pengambilan keputusan (Parhizkar *et al.*, 2021).

CA melakukan pemetaan atau transformasi set dari dimensi lama ke dimensi baru (yang relatif berdimensi lebih rendah) dengan memanfaatkan teknik dalam aljabar linear, tanpa memerlukan parameter tertentu dalam memberikan keluaran pemetannya. PCA memerlukan masukan data yang mempunyai sifat zero-mean pada setiap fiturnya. Sifat Zero-mean pada setiap fitur data bisa didapatkan dengan mengurangi semua nilai dengan rata-ratnya. Set data X dengan dimensi $M \times N$, dimana M adalah jumlah data dan N adalah jumlah fitur yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.11)**.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \sigma_{M3} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Untuk fitur ke-j semua nilai pada kolom, tersebut dikurangi dengan rata-ratanya, diformulasikan **Persamaan (2.12)**:

$$X_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_{ij} \quad (2.12)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan matrix kovarian dari matriks X, yaitu C_X Formulanya yang digunakan adalah *dot-production* pada setiap fitur yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.13)**.

$$C_X = \frac{1}{M} X^T \cdot X \quad (2.13)$$

N adalah jumlah fitur, sedangkan X^T adalah matriks transpos dari X ditunjukkan pada **Persamaan (2.14)**.

$$C_X = \frac{1}{M} \times \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \sigma_{M3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \sigma_{M3} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Pada matriks C_X , elemen ke-ij adalah *inner product* antara baris matriks X^T dengan kolom matriks X. Sifat-sifat yang dimiliki oleh matriks C_X sebagai berikut.

1. C_X adalah matriks simetri bujur sangkar berukuran $N \times N$;
2. Bagian selain diagonal utama adalah kovarian diantara pasangan dua fitur sesuai indeks kolomnya;
3. Bagian selain diagonal utama adalah kovarian di antara pasangan dua fitur yang bersesuaian.

Jadi, matriks C_X menangkap kovarian di antar semua pasangan yang mungkin dari fitur data set matriks X. Nilai kovarian merefleksikan noise dan redundansi pada fitur.

1. Dalam diagonal utama, asumsinya adalah nilai yang tinggi berkorelasi dengan struktur yang penting;
2. Dalam elemen selain diagonal utama, nilai yang tinggi berkorelasi dengan struktur yang tinggi.

Cara yang umum digunakan untuk mendapatkan C_Y adalah dengan eigenvalue dan eigen *vector*. Eigen *value* dan eigen *vector* dari matriks X berturut-turut adalah nilai skala λ dan vektor u yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.15)**.

$$Xu = \lambda u \quad (2.15)$$

Dengan mencari matriks ortonormal P dimana $Y = PX$ dan $C_Y = \frac{1}{M}YY^T$ adalah matriks diagonal, dan kolom dari P adalah komponen utama PC dari X, Persamaan C_Y biasa diyuliskan pada **Persamaan (2.16)**.

$$C_Y = P \left(\frac{1}{M} XX^T \right) P^T \quad (2.16)$$

Dengan mensubsitusikan **Persamaan (2.17)**, kita mendapatkan matriks C_Y berdimensi $N \times N$ ditunjukkan pada **Persamaan (2.17)**.

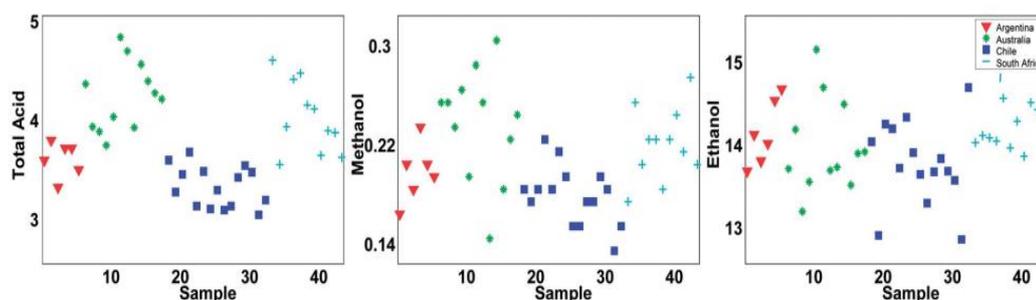
$$C_Y = PC_X P^T \quad (2.17)$$

Secara umum, PCA menggunakan transformasi ruang vektor untuk mengurangi dimensi set data yang besar. Dengan menggunakan proyeksi matematis, kumpulan data asli, yang mungkin melibatkan banyak variabel, seringkali dapat diinterpretasikan hanya dalam beberapa variabel (komponen utama). Oleh karena itu, sering kali pemeriksaan kumpulan data dimensi tereduksi akan memungkinkan pengguna melihat tren, pola, dan outlier dalam data, jauh lebih mudah daripada yang mungkin dilakukan tanpa melakukan analisis komponen utama (Partridge, 2009).

Principal Component Analysis (PCA) adalah salah satu teknik paling populer untuk pemrosesan data dan pengurangan dimensi, dengan banyak aplikasi seperti pengenalan gambar, analisis data ekspresi gen, dan pengelompokan. PCA berusaha menemukan arah yang menangkap varian maksimal dalam data bernilai vektor (Liu *et al.*, 2022).

Principal Component Analysis (PCA) telah disebut sebagai salah satu hasil paling berharga dari aljabar linier terapan. PCA banyak digunakan dalam semua bentuk analisis - dari ilmu saraf hingga grafik komputer karena merupakan metode non-

parametrik sederhana untuk mengekstraksi informasi yang relevan dari kumpulan data yang membingungkan. Dengan upaya tambahan yang minimal, PCA menyediakan peta jalan tentang cara mengurangi kumpulan data kompleks ke dimensi yang lebih rendah untuk mengungkap dinamika yang terkadang tersembunyi dan disederhanakan yang sering mendasarinya (Shlens, 2013). Dibawah ini merupakan contoh gambar grafik dari PCA yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2. 12 Contoh grafik dari *Principal Component Analysis* (Smilde, 2014).

2.2.8 Matlab (*Matrix laboratory*)

Matrix laboratory (Matlab), adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi keempat. Dikembangkan oleh The MathWorks.Inc, Matlab memungkinkan manipulasi matriks, *per-plot-an* fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan antarmuka pengguna, dan pengantar mukaan dengan program dalam bahasa lainnya. Meskipun hanya bernuansa numerik, sebuah kotak kakas (*toolbox*) yang menggunakan mesin simbolik MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar komputer. Sebuah paket tambahan, Simulink, menambahkan simulasi grafis multiranah dan Desain Berdasar-Model untuk sistem terlekat dan dinamik (Ariyanto, 2011).

Matlab adalah paket perangkat lunak yang memungkinkan untuk melakukan matematika dan komputasi, menganalisis data, mengembangkan algoritme, melakukan simulasi dan pemodelan, serta menghasilkan tampilan grafis dan antarmuka pengguna grafis (Knight, 2000). Salah satu aspek yang sangat berguna dari Matlab ialah kemampuannya untuk menggambarkan berbagai jenis grafik, sehingga bisa divisualisasikan data dan fungsi yang kompleks (Widiarsono, 2021).

Matlab memiliki banyak kegunaan, salah satu contohnya adalah untuk membuat pemrograman pada jaringan syaraf tiruan (JST).

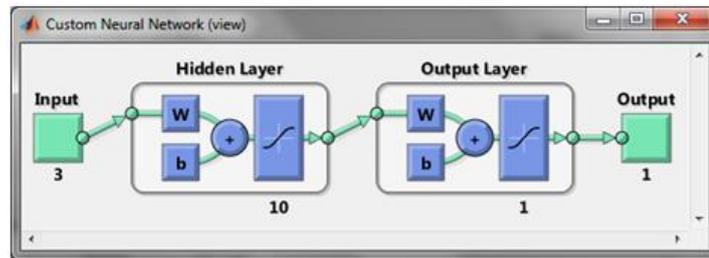
Membuat jaringan syaraf tiruan (JST) di Matlab:

Beberapa literatur banyak kita jumpai baik terbitan lokal maupun internasional yang membahas mengenai JST. Teknik yang merupakan salah satu dari sekian banyak teknik dalam *Soft Computing*. Ada baiknya untuk membaca landasan teori mengenai JST, bila perlu membuat ulang dari algoritma yang tersedia dengan bahasa pemrograman yang dikuasai seperti C++, Pascal atau Java. Matlab menyediakan *toolbox* yang dapat dilihat struktur programnya. Misalkan ingin tahu bagaimana Matlab membuat JST, ketik di *command window*: `>> edit newff`. Maka dapat dilihat alur program M-File yang merupakan fungsi untuk merakit JST.

Sebagai contohnya jika memiliki tiga buah masukan dan satu keluaran. Keluaran yang dihasilkan akan diarahkan ke sasaran tertentu. Teknik ini sering dikenal dengan nama *Supervised Learning*. Dimisalkan memiliki tiga buah sampel yang masing-masing menyatakan kurang, baik, dan cukup. Katakanlah sampel itu A, B, dan C. $A=[0; 0; 1]$, $B=[1; 0; 1]$ dan $C=[1; 1; 1]$. Jika diperhatikan pada Matlab vektor dinyatakan dengan matriks kolom. Berikutnya, karena bertipe pembelajaran terpandu, diharuskan membuat target, $T=[1\ 5\ 10]$. Untuk target matriks dibuat dengan vektor baris, artinya jika ada masukan seperti A, keluarannya harus mendekati target=1, jika masukan B, keluaran harus mendekati 5, dan begitu pula untuk masukan C. Untuk pembelajarannya, JST melakukan secara simultan A, B dan C. Jadi input untuk pembelajarannya: $Input = [A\ B\ C]$ yang sama dengan, $Input = [0\ 1\ 1; 0\ 0\ 1; 1\ 1\ 1]$ yang merupakan matriks tiga baris dan tiga kolom. Jika seluruh matriks sudah dimasukkan pada *command window*, maka sudah siap untuk dirakitnya JST, ketik “*nntool*” pada *command window*.

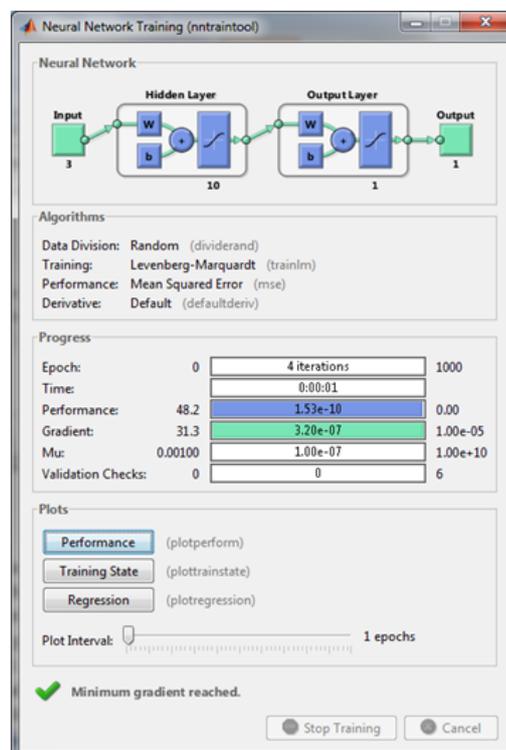
Klik *Import*, pilih variabel input pada *workspace* untuk *input* dan T pada *workspace* untuk target. Klik OK saat diminta konfirmasinya. Jika sudah berarti telah diberikan masukan dan target pembelajaran, selanjutnya merakit JST, klik “*New*” dilanjutkan dengan melakukan *setting* di *Toolbox*. Pilih masukan dan targetnya (*Input* dan T). Secara *default*, jumlah neuron per *layer* adalah 10 (*layer* tersembunyi). Di sinilah

letak kelemahan JST. Jika digunakan neuron terlalu banyak, jangan heran jika ada pesan kesalahan “*Out of Memory*”. Tampilan JST ditunjukkan **Gambar 2.13**.



Gambar 2. 13 Tampilan JST yang ada di Matlab (Rahmadya, 2011).

Jika sudah OK, pada nntool, *dobel* klik *network1*. Tentu saja boleh merubah nama *network1* menjadi nama lain sesuai selera. Lakukan proses pembelajaran dengan mengklik “*Train*”, kembali diminta memilih *input* dan target. Jika sudah klik “*Train Network*”. Tampilan training JST ditunjukkan **Gambar 2.14**.



Gambar 2. 14 Training JST yang ada di Matlab (Rahmadya, 2011).

Jika telah berhasil membuat JST sekaligus melakukan pembelajaran terhadap JST tersebut dengan tiga masukan tersebut. Kembali ke nntool, langkah terakhir yang tidak kalah pentingnya adalah meng-*eksport* JST itu ke *workspace* dengan mengklik tombol “*Export*”. Pilih salah satu saja yaitu *network1*, karena akan

digunakan untuk menguji masukan tertentu apakah masuk kategori kurang(1), cukup(5) atau baik(10).

Untuk mengujinya, pada *command window*, jika anda ketik `sim(network1,A)`, diharus menemukan jawaban= 1. `sim(network1,B)`, jawabannya harus 5, begitu juga yang C, jawaban harus 10. Dimisalkan ada data baru $D=[1; 1; 0]$, cenderung masuk kelas baik, jika cukup atau kurang ketik saja `sim(network1,D)`, jawabannya adalah 10, yang berarti masuk kelas “Baik”. Setelah itu, tugasnya adalah membuat tampilan visualnya (GUI) agar pengguna mudah memakai program JST yang baru saja dihasilkan lewat *console* (Rahmadya, 2011).

2.2.9 Minyak dan Gas Bumi

Minyak dan gas bumi adalah sumber daya alam yang tersimpan di bawah permukaan bumi dan berbentuk cair maupun gas. Minyak dan gas bumi berada di dalam pori-pori batuan pada suatu kolam di perut bumi yang disebut reservoir. Minyak dan gas bumi terdiri atas senyawa kompleks . Unsur utamanya adalah atom hidrogen (H) dan karbon (C) sehingga disebut juga dengan senyawa karbon C_xH_y (Siswanto, 2009).

Gas bumi adalah bahan bakar fosil berbentuk gas. Gas bumi sering juga disebut sebagai gas alam atau gas rawa. Gas bumi dapat ditemukan di ladang minyak, gas bumi, dan juga tambang batu bara (Kementerian ESDM, 2014). Minyak bumi merupakan cairan kental coklat kehitaman yang tersusun oleh beberapa senyawa karbonat yang tersusun secara kompleks. Seperti yang kita ketahui bahwasannya minyak maupun gas bumi merupakan sumber salah satu energi yang paling dibutuhkan dalam berbagai bidang sesuai kebutuhannya masing-masing, salah satu penggunaannya yaitu terhadap industri, transportasi, serta di berbagai bidang kegiatan rumah tangga. Ada yang menyatakan bahwa, konversi dari energi cahaya dapat menghasilkan energi listrik, dimana tidak mendapatkan sisa hasil buangnya sama halnya seperti pembakaran BBM dan juga hasil dari beberapa bahan bakar fosil yang lain (Fitria *et al.*, 2020).

2.2.9.1 Keunggulan Minyak dan Gas Bumi

Dibawah ini merupakan beberapa keunggulan dari minyak bumi:

1. Sifat cair minyak bumi: Sifat cair minyak bumi ditinjau dari segi teknisnya sangat menguntungkan karena mudah ditransportasikan, ditempatkan dimana saja dan mudah dipompakan.
2. Mempunyai kalori yang tinggi: satu kilogram minyak bumi akan menghasilkan kalori yang lebih banyak dari pada satu kilogram batu bara.
3. Dapat menghasilkan berbagai macam bahan bakar: minyak dan gas bumi, terutama minyak mentah menghasilkan berbagai macam fraksi distilasi yang berupa bahan bakar keperluan berbagai mesin (Santosa, 2007).

2.2.9.2 Bahayanya untuk Lingkungan

Komponen utama dalam gas bumi adalah metana (CH_4). Metana merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Metana adalah gas rumah kaca yang dapat menciptakan pemanasan global ketika terlepas ke atmosfer. Saat terlepas ke atmosfer, metana umumnya dianggap sebagai polutan ketimbang sumber energi yang berguna (Kementerian ESDM, 2014). Komposisi yang umumnya terkandung pada gas bumi dapat diamati pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Komposisi gas bumi pada umumnya (Kementerian ESDM, 2014).

Komponen	Presentase
Metana (CH_4)	80%-95%
Etana (C_2H_6)	5%-15%
Propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10})	<5%

Selain bahaya yang dihasilkan dari komposisi yang terkandung pada minyak dan gas bumi, bahaya lainnya juga dapat disebabkan dari limbahnya. Gas-gas seperti CO_x , SO_x , NO_x , Particulate dan Ozon yang ditransmisikan ke atmosfer dari kegiatan transportasi, industri dan lain-lain, akan memberikan dampak yang negatif (berbahaya) bagi kesehatan dan kehidupan makhluk hidup (Santosa, 2007).

Selain berbahaya karena dapat menyebabkan kebakaran, beberapa cairan seperti, minyak tanah dan bensin juga berbahaya bagi kesehatan. Jika gas tersebut terhirup dengan jangka waktu yang lama dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan dan menyebabkan kanker (Gumelar *et al.*, 2017).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2023 sampai dengan Juni 2023. Kegiatan penelitian ini terdiri dari perancangan dan pembuatan alat, pengujian dan kalibrasi sensor, pemrograman jaringan saraf tiruan (JST), pelatihan JST, pengambilan data, dan analisis data yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Program Kerja	Bulan				
		Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1.	Perancangan Alat	■				
2.	Pengujian Sensor		■			
3.	Perangkaian Alat		■	■		
4.	Pelatihan JST			■		
5.	Pengambilan Data				■	
6.	Analisis Hasil				■	■

Tahap pembuatan alat dan pengambilan data dilaksanakan di laboratorium Workshop Elektronika dan Instrumentasi 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. *Chamber*, digunakan untuk mengalirkan gas yang ingin dianalisis;
2. Pompa, digunakan untuk membuang gas yang ada di *chamber* setelah selesai melakukan analisis;

3. Selang kecil, digunakan untuk mengalirkan gas yang ingin dianalisis;
4. Tabung gas nitrogen, digunakan untuk tempat menyimpan gas nitrogen. Gas nitrogen di sini berfungsi untuk membersihkan *chamber* dan sensor. Gas nitrogen dipilih karena sensor tidak beracun pada gas nitrogen;
5. LCD digunakan untuk menampilkan hasil analisis gas yang dimasukkan ke dalam *chamber*;
6. PC/komputer digunakan untuk memperoleh data dan mengolah sinyal masukan dari arduino sehingga mendapatkan data yang diinginkan;
7. *Software* Matlab, digunakan untuk memproses, mengolah dan menganalisis serta menganalisis karakteristik gas dari Bahan Bakar Minyak (BBM). Selain itu, perangkat lunak Matlab juga digunakan untuk merancang JST untuk mengidentifikasi jenis gas dari BBM.

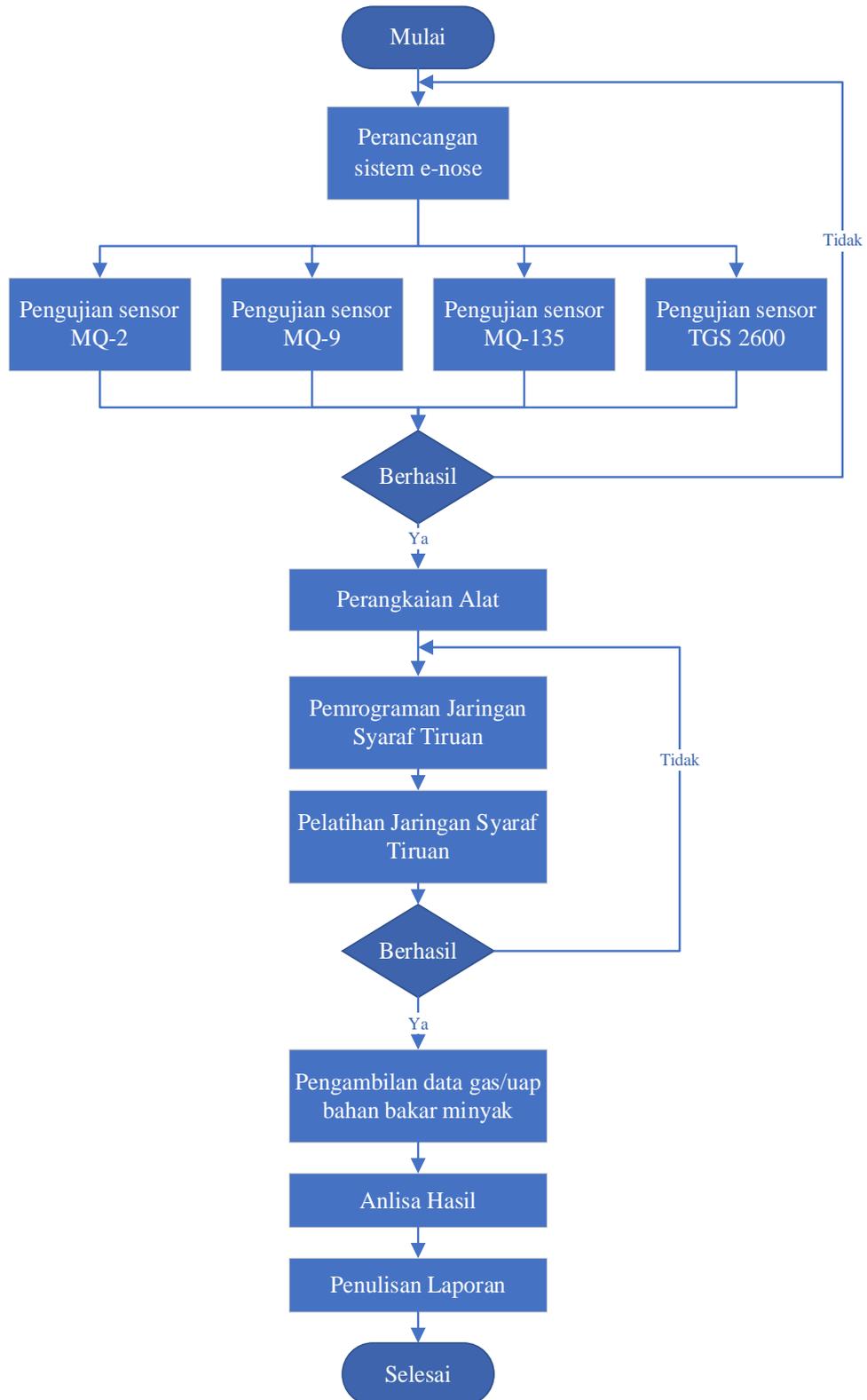
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Node MCU ESP 32, digunakan sebagai mikrokontroler yang mengendalikan *Liquid Crystal Display* (LCD);
2. MQ-2, mendeteksi gas H₂, metana/CH₄, CO, dan propana;
3. MQ-9, Mendeteksi gas CO, LPG, metana/CH₄;
4. MQ-135, Mendeteksi kualitas udara;
5. TGS-2600, Mendeteksi gas CH₄ dan gas yang mudah terbakar;
6. Gas nitrogen, digunakan untuk membersihkan ruang dan sensor. Nitrogen dipilih karena sensor tidak akan larut dengan nitrogen;
7. Bahan yang digunakan untuk sampel yaitu, solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax.

3.3 Prosedur Penelitian

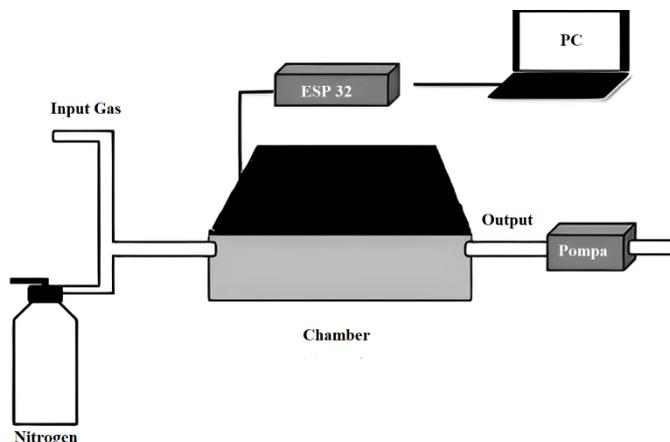
Metode yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan adalah perancangan alat, pengujian sensor, perangkaian alat, pemrograman JST, pelatihan JST, pengambilan data, dan analisis hasil. Untuk secara keseluruhan, pembuatan rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *backpropagation*

untuk mendeteksi gas/uap dari solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax pada
Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.

Tahap perancangan sistem *e-nose* dilakukan untuk merancang perangkat keras *e-nose*. Sensor gas yang digunakan terdiri dari adalah MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-7, MQ-9, MQ-135, TGS-2600, dan TGS-2611. Berikut ini merupakan skema rancangan *e-nose* yang akan dibuat yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Skema Rancang *Elektronic Nose*

Sensor gas diletakkan di tutup *chamber* yang berada di atas. Dibuat laci pada *chamber* untuk memasukan gas sampel yang akan dianalisis, memasukkan gas nitrogen untuk membersihkan *chamber*. Selanjutnya pada lubang terdapat selang untuk mengeluarkan gas yang ada di dalam *chamber*. Selanjutnya pada lubang untuk mengeluarkan gas dipasang pompa yang berfungsi menarik gas keluar dari *chamber* yang dikendalikan oleh Node MCU ESP32. NodeMCU ESP32 diletakkan di luar *chamber* dan dihubungkan ke PC untuk mengolah keluaran sensor gas yang diterima.

Tahap pengujian sensor dilakukan dengan memberikan gas metana dan karbon monoksida dengan berbagai variasi konsentrasi pada sensor gas yang digunakan satu per satu. Untuk menentukan konsentrasi gas sampel, dilakukan perhitungan seperti pada **Persamaan (3.1)**.

$$ppm = \frac{m_s}{m_c} \cdot 10^6 \quad (3.1)$$

Dengan ppm adalah konsentrasi gas, m_s adalah massa gas sampel (gram), m_c adalah massa gas di *chamber* (gram). Sehingga untuk menentukan massa gas digunakan rumus seperti pada **Persamaan (3.2)**.

$$m = \rho \cdot V \quad (3.2)$$

Dengan:

ρ = massa jenis gas(gram/ ℓ)

V = volume gas(ℓ)

Dengan menggunakan **Persamaan (3.1)** untuk menghitung massa gas sampel maka **Persamaan (3.2)** dapat tuliskan seperti ditunjukkan pada **Persamaan (3.3)**.

$$V_S = \frac{ppm \cdot m_c}{\rho_s \cdot 10^6} \quad (3.3)$$

Dengan V_S adalah volume yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai konsentrasi gas (Liter) dan ρ_s adalah massa jenis gas sampel (g/ ℓ). Pengujian sensor menggunakan gas sampel ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Data kalibrasi sensor menggunakan gas CO dan CH₄

No	Kosentrasi (ppm)	Uji ke	Sensor (mV)			
			MQ-2	MQ-9	MQ-135	TGS-2600
1	10	1				
		2				
		...				
		5				
		2				
2	50	1				
		2				
		...				
		5				
		3				
3	100	1				
		2				
		...				
		5				
		4				
4	150	1				
		2				
		...				
		5				
		5				
5	200	1				
		2				
		...				
		5				
		5				

Tahapan pemrograman jaringan syaraf tiruan (JST) dilakukan dengan membuat JST dengan menggunakan *software* Matlab. JST ini yang akan digunakan untuk

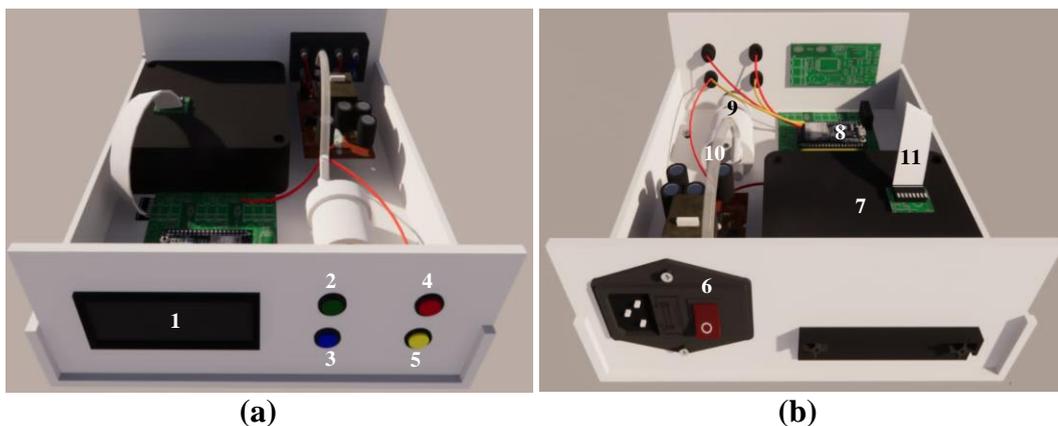
mengenali profil gas dari solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax. Profil ini yang akan digunakan sebagai data untuk membedakan jenis gas dari berbagai jenis BBM.

Tahap pelatihan jaringan syaraf tiruan akan dilakukan dengan memberikan gas dari solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax pada alat. Sehingga JST akan dilatih untuk mengenali perbedaannya.

Tahap pengambilan data profil gas BBM akan dilakukan dengan mengambil gas dari berbagai jenis BBM. Data yang diperoleh akan dianalisa dan dibahas.

3.4 Perancangan Alat

Pada penelitian ini dirancang sebuah *e-nose* yang terdiri dari 9 sensor gas tipe MOS, Node MCU ESP 32, dan komputer. Berikut ini merupakan desain sistem *e-nose* 3 dimensi menggunakan *software autocad* yang diperlihatkan pada **Gambar 3.3**.

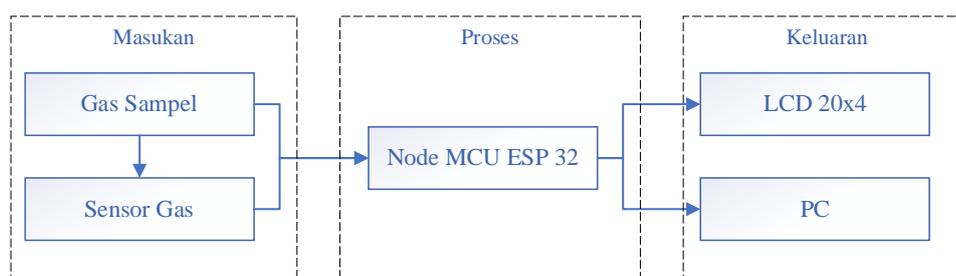


Gambar 3.3 Desain *e-nose* 3 dimensi (a) bagian depan, dan (b) bagian belakang.

Keterangan:

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1. LCD 12C | 7. Chamber |
| 2. Tombol Start | 8. Node MCU ESP32 |
| 3. Tombol Reset | 9. Pipa L |
| 4. Tombol Stop | 10. Selang |
| 5. Tombol Pompa | 11. Kabel IDC 16C |
| 6. Tombol ON/OFF | |

Fungsi dari *port serial* adalah sebagai *port* untuk melakukan pengiriman data hasil deteksi sensor menggunakan komunikasi serial Node MCU ESP32 dengan PC. Data hasil deteksi sensor tersebut akan dianalisis menggunakan JST. Disediakan pada 4 tombol untuk mengoperasikan *e-nose*, tombol *reset* untuk mengantur kembali nilai keluaran ADC pada sensor, tombol *start* untuk memulai menampilkan nilai keluaran ADC pada sensor, dan tombol *stop* untuk menghentikan pembacaan nilai keluaran ADC pada sensor. Berikut ini adalah diagram blok rancangan alat *e-nose* yang akan digunakan untuk mendeteksi kandungan gas BBM yang diperlihatkan pada **Gambar 3.4**.

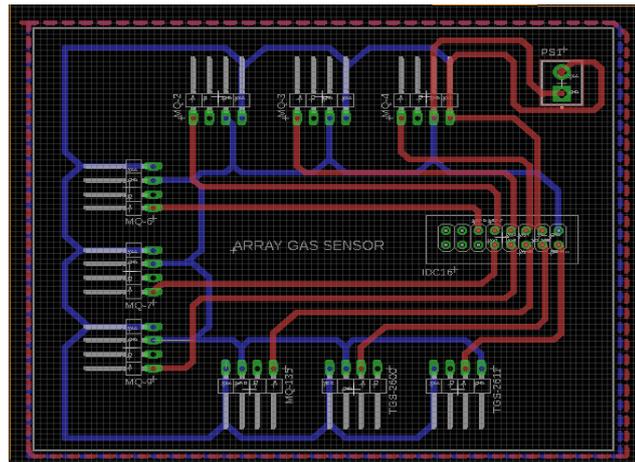


Gambar 3.4 Diagram blok system *e-nose*.

Gas masukkan berupa gas yang dihasilkan dari bau larutan BBM yang akan dideteksi oleh sensor gas. Sensor gas yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah MQ-2, MQ-9, MQ-135, dan TGS 2600. Perubahan tegangan yang dihasilkan oleh sensor diterima oleh Node MCU ESP 32 dan diubah menjadi data berbentuk *array*. *Array* data yang diterima oleh Node MCU ESP 32 dikirim ke PC untuk dianalisis menggunakan JST pada *software* Matlab. Setelah analisis selesai, alat akan menampilkan hasil pada tampilan LCD.

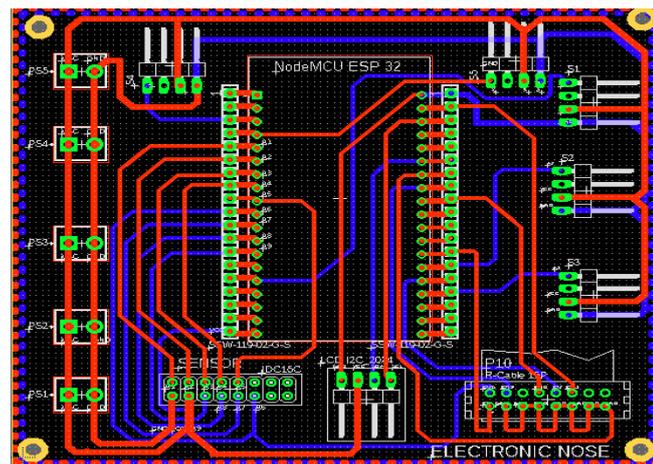
3.4.1 Sensor Gas Array

Pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah sensor MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8, MQ-9, MQ-135, TGS-2600, dan TGS-2611 yang akan digunakan untuk mendeteksi gas metana dan karbon monoksida dalam proses pengujian sensor. Rangkaian keseluruhan gas *array* yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 Rangkaian sensor gas *array e-nose*.

Pin *out* masing-masing sensor dihubungkan ke pin analog Node MCU ESP32. Kemudian pin *Vcc* pada sensor dihubungkan dengan tegangan 5 Volt. Sensor gas yang digunakan pada penelitian ini adalah MQ-2, MQ-9, TGS 2600, dan MQ-135. Sensor gas diletakkan pada tutup *chamber* yang berada di atas. Jika rangkaian sensor gas *array* dihubungkan ke *power* dan Node MCU ESP 32 dapat dibuat dalam rangkaian PCB yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



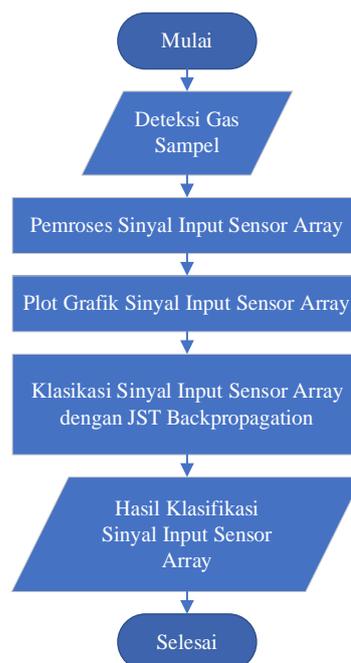
Gambar 3. 6 Rangkaian PCB sensor gas *array* penelitian.

Elemen penginderaan pada sensor TGS 2600 terdiri dari *chip* penginderaan dengan lapisan semikonduktor oksida logam yang dibentuk pada substrat alumina dan memiliki *heater* yang terintegrasi. Jika diberi gas tertentu, konduktivitas sensor meningkat tergantung pada konsentrasi gas di udara. Sirkuit elektrik sederhana dapat mengubah perubahan konduktivitas menjadi sinyal *output* yang sesuai dengan konsentrasi gas. MQ -9 memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap

gas metana. Sensor ini juga memiliki kepekaan terhadap metana dengan konsentrasi kecil. TGS 2600 memiliki sensitivitas tinggi terhadap konsentrasi rendah gas hidrogen, karbon monoksida, dan metanol. Sensor ini juga dapat mendeteksi gas-gas tersebut pada level ppm. Selain TGS pada penelitian ini juga menggunakan sensor merk MQ tipe MQ-2 dan MQ-9. Struktur sensor gas MQ tersusun oleh tabung keramik mikro Al_2O_3 elektroda pemanas. Sensor MQ-7 memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas metana (Fadhillah, 2019).

3.4.2 Perancangan JST

Pada penelitian ini digunakan Matlab dengan metode *back propagation* untuk membuat JST yang akan digunakan untuk mengidentifikasi aroma gas yang dihasilkan oleh berbagai jenis BBM diantaranya solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax. Metode ini terdiri dari dua tahap, yaitu *feedforward* dan tahap *back propagation error* yang disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



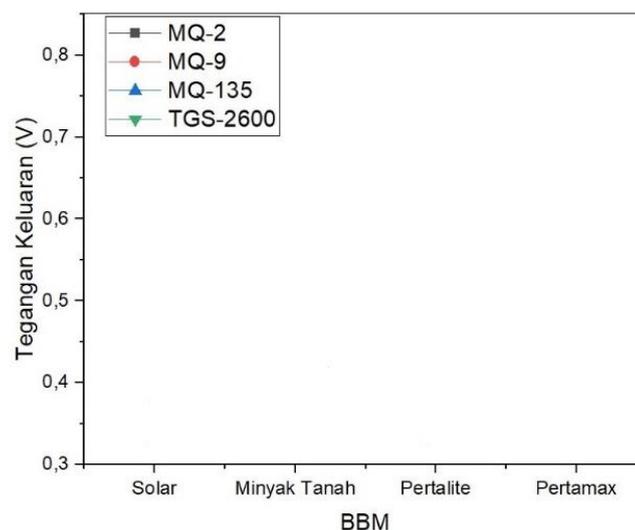
Gambar 3. 7 Diagram alir perancangan JST.

Tahap pendektasian gas sampel merupakan tahap pendeteksian oleh *array* sensor untuk mendeteksi gas metana dan karbon monoksida yang dimasukkan kedalam

chamber. Kemudian data hasil pengujian kandungan BBM tersebut dianalisis menggunakan *JST back propagation*. Sinyal-sinyal yang didapatkan dalam sensor diproses kedalam Node MCU ESP32 dan dikirimkan ke PC menggunakan komunikasi serial.

Tahap pemrosesan sinyal masukan sensor *array* merupakan proses konversi sinyal-sinyal analog yang dikirim oleh sensor *array* ke Node MCU ESP32 kedalam bentuk data-data digital. Konversi analog ke digital menggunakan ADC pada NodeMCU ESP 32. Hal ini dilakukan karena sinyal-sinyal yang dikirim oleh sensor masih berbentuk sinyal analog.

Tahap plot grafik sinyal masukan sensor *array*. *Plotting* dilakukan secara *real time* sehingga proses pengambilan data dapat langsung diamati. Untuk menampilkan grafik secara *real time* digunakan *Software Matlab Grapich user interfence* (GUI) sebagai *interference*. Adapun grafik sensor respon *array* ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3. 8 Grafik respon sensor *array*.

Tahap klasifikasi sinyal masukan sensor *array* dengan *JST Back propagation* merupakan proses pengklasifikasian sinyal sensor *array* yang didapatkan. Proses ini juga dilakukan untuk melatih *JST* agar dapat mengenali kandungan BBM dengan berbagai jenis yaitu solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax. *JST* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan empat *node input* pada lapisan

masukan dan empat *node output* pada lapisan keluaran, hal ini sesuai dengan jumlah masukan dari sensor yang digunakan untuk membaca empat parameter. Pada lapisan tersembunyi, fungsi aktivasi yang digunakan pada model JST ini adalah *sigmoid*.

Pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*), jumlah *node* yang digunakan ditentukan berdasarkan pendekatan yang tertera pada **Persamaan (2.1)** sampai **Persamaan (2.3)**. Dengan menggunakan nilai $X=4$ dan $Y = 4$, jumlah *node* pada lapisan tersembunyi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Jumlah *node* pada lapisan tersembunyi

Model	Pendekatan	Jumlah <i>node</i> pada lapisan tersembunyi
JST -1	1	$Z = X = 4$
JST -2	2	$Z = Y = 4$
JST-3	3	$Z = X + Y = 8$

Berdasarkan **Tabel 3.3** di atas terdapat tiga model JST yang digunakan pada penelitian ini. Masing-masing model JST memiliki jumlah *node* pada lapisan tersembunyi berbeda-beda. Kinerja masing-masing JST yang digunakan pada penelitian ini akan dihitung berdasarkan nilai pada **Persamaan (2.4)** sampai **Persamaan (2.8)**. Kinerja ketiga model JST kemudian dibandingkan untuk menentukan model JST mana yang paling baik tingkat kinerjanya.

Tahap hasil klasifikasi sinyal masukan sensor *array* akan menampilkan hasil dari proses klasifikasi sinyal masukan sensor *array*. Hasil yang ditampilkan berupa gas yang dianalisa dari sampel berbagai jenis BBM.

3.4.3 Pengujian dan Analisis Sistem *E-nose*

Pengujian sistem *e-nose* ini dilakukan untuk mengenali profil gas dengan baik dengan JST. Pengujian dari sistem JST, yaitu dengan memberikan gas dari sampel uji BBM dengan jenis solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax. Berikut ini merupakan tabel data pengujian *e-nose* yang ditunjukkan pada **Tabel 3.4**

Tabel 3. 4 Data uji sistem *e-nose*

No.	Jenis BBM	Sampel uji ke-	Dikenali sebagai		
			Solar	Minyak Tanah	Pertalite pertamax
1.	Solar	1			
		2			
		...			
		17			
2.	Minyak Tanah	1			
		2			
		...			
		17			
3.	Pertalite	1			
		2			
		...			
		17			
4.	Pertamax	1			
		2			
		...			
		17			

Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap model JST yang telah dibuat dengan cara melakukan pengujian terhadap data yang berbeda dari data yang digunakan pada proses pelatihan JST. Analisis dilakukan dengan membentuk *confusion matrix* yang berupa nilai yang berbentuk *matrix* untuk mencari nilai akurasi, sensitivitas, spesifitas, presisi, dan nilai prediksi negative dari setiap model JST yang diperoleh dari hasil pelatihan. Hasil perhitungan data *binary confusion matrix* ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3. 5 Rancang table *confusion matrix*

Sampel hasil identifikasi			
Sampel Sebenarnya	Solar		Bukan Solar
Solar	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan Solar	FP=	TN=	Spesifitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi=
Sampel Sebenarnya	Minyak Tanah		Bukan Minyak Tanah
Minyak Tanah	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan Minyak Tanah	FP=	TN=	Spesifitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi=
Sampel Sebenarnya	Pertalite		Bukan Pertalite
Pertalite	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan Pertalite	FP=	TN=	Spesifitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi=
Sampel Sebenarnya	Pertamax		Bukan Pertamax
Pertamax	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan Pertamax	FP=	TN=	Spesifitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi=

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Rancang bangun sistem *electronic nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST) dengan metode *back propagation* telah selesai dan berhasil untuk mengenali jenis gas/uap pada BBM yaitu solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax.
2. Sistem *e-nose* yang mampu menganalisa proses JST dan membedakan jenis gas/uap dari solar, minyak tanah, pertalite, dan pertamax telah berhasil dibuat dengan tingkat keberhasilan yang didapat yaitu 94,75%.

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang dapat digunakan untuk perkembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Perbanyak sampel data latih, semakin banyak data yang dilatih maka semakin meningkatkan kinerja dari JST dalam membedakan sampel dari beberapa jenis BBM.
2. Berikan perlakuan yang sama ketika proses memasukkan gas kedalam chamber terjadi untuk masing-masing sampel agar keluaran dari sampel-sampel seimbang hasilnya satu dengan yang lain, sehingga dapat mengurangi tingkat error yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, A. 2011. Artificial neural networks. *Neural Networks*, 3(1), 901–908.
- Agus Perdana Windarto, D. N., Anjar Wanto, Frinto Tambunan, M. S. H., Muhammad Noor Hasan Siregar, M. R. L., & Solikhun, Yusra Fadhillah, D. N. 2019. Jaringan Saraf Tiruan: Algoritma Prediksi dan Implementasi. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Ariyanto, M., & Caesarendra, W. 2011. Panduan Belajar Mandiri MATLAB. *Jurnal Universitas Diponegoro*, 4(1), 1–42.
- Boedi P, D., Himawan, H., & F, M. Y. 2019. *Belajar Arduino Dalam 15 Langkah*. Yogyakarta: LPPM UPN “VETERAN.”
- Bro, R., & Smilde, A. K. 2014. Principal component analysis. *Analytical Methods*, 6(9), 2812–2831.
- Burgués, J., & Marco, S. 2018. Low power operation of temperature-modulated metal oxide semiconductor gas sensors. *Sensors*, 18(2), 1-15.
- Datasheet. 2006a. *Hanwei Electronic MQ-2 Gas Sensor*. Available at: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/622943/Hanwei/MQ-2/1> (Accessed: 20 January 2023).
- Datasheet. 2006b. *Hanwei Electronic MQ-9 Gas Sensor*. Available at: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/904644/Hanwei/MQ-9/1> (Accessed: 20 January 2023).
- Datasheet. 2014. *Hanwei Electronic MQ-135 Gas Sensor*. Available at: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/605076/Hanwei/MQ-135/1> (Accessed: 20 January 2023).
- Datasheet. 2017. *Product Information TGS2600 For Thee Detection of Air Contaminats*. Available at: <http://www.figarosensor.com/product/docs/tgs2600> (Accessed: 20 January 2023).
- Djuandi, F. 2011. Pengenalan Arduino dan Memulai dengan Arduino. *Teknik Elektro*, 3(2), 1–24.

- Fadhillah, R. 2019. Rancang Bangun Sistem *Electronic Nose* Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation Untuk Mendeteksi Penyakit Diabetes Militus. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Fitria Wati, A., Yulistia Erwan, E., & Azizah, N. 2020. Industri Pengolahan Minyak Bumi Di Indonesia. *Jurnal FMIPA*, 2(2), 20–29.
- Gumelar, D. M., Rivai, M., & Tasripan, T. 2017. Rancang Bangun Wireless E-Nose Berbasis Teknologi Internet of Things. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 6–10.
- Gunawan, B., Alfarisi, S., Satrio, G., Sudarmaji, A., Malvin, M., & Krisyarangga, K. 2019. MOS gas sensor of meat freshness analysis on E-nose. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(2), 771–780.
- Guo, Jiang. 2013. *BackPropagation Through Time*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/BackPropagation-Through-Time-Guo/c77f7264096cc9555cd0533c0dc28e909f9977f2> (Accessed: 20 January 2023).
- Handayani, Laras. 2022. Deteksi Rempah-rempah *Electronic Nose* Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation. *Skripsi*. Universitas Lampung .
- Haykin, S. 2005. *Neural Networks - A Comprehensive Foundation*. Pearson Education: Canada.
- Hendrick, Efrizon, Yultrisna, Humaira, Botto-Tobar, M., & Silvia, Y. 2022. E-Nose Application for Detecting Banana Fruit Ripe Levels Using Artificial Neural Network Backpropagation Method. *International Journal of Data Science*, 3(1), 11–18.
- Hermanto, Rudiyanto, Suprayogi, S. 2008. Aplikasi Model Artificial Neural Network (ANN) Terintegrasi dengan Geographycal Information System (GIS) untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Perkebunan Kakao. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian*, 1(5), 1–9.
- Kalita, P., Saikia, M. P., & Singh, N. H. 2015. Electronic-Nose Technology and its Application -A Systematic Survey. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 3(1), 123–128.
- Kementerian ESDM. 2014. *Pembangunan Jaringan Gas Bumi untuk Rumah Tangga*. Kementerian ESDM Republik Indonesia: Jakarta.
- Knight, A. 2000. *Basics of MATLAB and Beyond*. Champman & Hall: New York.
- Krogh, A. 2008. What are artificial neural networks?. *Nature Biotechnology*, 26(2), 195–197.

- Leksono, J. W., W, H. K., Indahwati, E., Yanuansa, N., & Ummah, I. 2019. *Modul Belajar Arduino Uno*. Universitas Hasyim Asy'ari : Jambi.
- Lintang, C. A., Widodo, T. W., & Lelono, D. 2016. Rancang Bangun Electronic Nose untuk Mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 6(2), 129–140.
- Liu, X., Cheng, S., Liu, H., Hu, S., Zhang, D., & Ning, H. 2012. A survey on gas sensing technology. *Sensors*, 12(7), 9635–9665.
- Liu, Z., Liu, J., Ghosh, S., Han, J., & Scarlett, J. 2022. Generative Principal Component Analysis. *Published as a conference paper at ICLR*, Singapore: 7-8 September 2022. Hal.1–33.
- Macías-Quijas, R., Velázquez, R., De Fazio, R., Visconti, P., Giannoccaro, N. I., & Lay-Ekuakille, A. 2022. Reliable e-nose for air toxicity monitoring by filter diagonalization method. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(2), 1286–1298.
- Mahmoudi, E. 2009. Electronic nose technology and its applications. *Sensors & Transducers*, 107(8), 17-21.
- Miller, T. C., Morgera, S. D., Sadow, S. E., Takshi, A., & Palm, M. 2021. Electronic Nose with Detection Method for Alcohol, Acetone, and Carbon Monoxide in Coronavirus Disease 2019 Breath Simulation Model. *IEEE Sensors Journal*, 21(14), 15935–15943.
- Mishra, S., Sarkas, U., Taraphder, S., Datta, S., & Swain, D. 2017. Principal components analysis. *International Journal of Livestock Research*, 7(6), 333–338.
- Nazemi, H., Joseph, A., Park, J., & Emadi, A. 2019. Advanced micro-and nano-gas sensor technology: A review. *Sensors*, 19(6), 1–23.
- Pakma, O. 2012. Current mechanism in HfO₂-gated metal-oxide-semiconductor devices. *International Journal of Photoenergy*, 2(2), 1–8.
- Parhizkar, T., Rafieipour, E., & Parhizkar, A. 2021. Evaluation and improvement of energy consumption prediction models using principal component analysis based feature reduction. *Journal of Cleaner Production*, 279(10), 1–17.
- Partridge, M., & Jabri, M. 2009. Robust principal component analysis. *Neural Networks for Signal Processing - Proceedings of the IEEE Workshop*, 1(5), 289–298.

- Patel, H. K., Austin, R. H., & Barber, J. 2014. *The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology*. Springer : New York.
- Payla, J. N. 2018. Principal Component Analysis Why Principal Component Analysis ?. *Ieee Signal Processing Letters*, 9(2), 40–42.
- Prasad, Rajendra. 2009. Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using ESP 32. *Recent Technology and Engineering*. 8(1). 2277-3878.
- Pulluri, K. K., & Kumar, V. N. 2022. Qualitative and Quantitative Detection of Food Adulteration Using a Smart E-Nose. *Sensors*, 22(20), 1–16.
- Rahmadya. 2011. Membuat Jaringan Syaraf Tiruan (JST) di Matlab. *Neural Network*, 10(5), 1–3.
- Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. 2020. Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing : Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 23–28.
- Santosa, H. 2007. Teknologi Mineral. *Jurnal Ilmu Kebumihan*, 20(2), 1–7.
- Santoso, H. 2015. *Panduan Praktis Arduino untuk Pemula*. Elang Sakti : Trenggalek.
- Sasmoko, D. 2021. *Arduino dan Sensor pada Project Arduino DIY*. Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik : Semarang.
- Shlens, J. 2013. A Tutorial on Principal Component Analysis. *Acta Oncologica*, 52(8), 1771–1777.
- Siswanto, D. 2009. *Minyak dan gas bumi*. kementrian energi dan sumber daya mineral: Jakarta.
- Tan, J., & 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(20), 104–115.
- Widiarsono, T. 2021. Tutorial Praktis Belajar Matlab. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 1(1), 1–80.
- Wilson, A. D., & Baietto, M. 2009. Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9(7), 5099–5148.
- Ye, Z., Liu, Y., & Li, Q. 2021. Recent progress in smart electronic nose technologies enabled with machine learning methods. *Sensors*, 21(22), 23–26.
- Zhang, L., Tian, F., & Zhang, D. 2018. *Electronic Nose: Algorithmic Challenges*. Springer : Guangdong.