

**RANCANG BANGUN SISTEM *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* BERBASIS
MULTI SENSOR MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN
DENGAN METODE *BACKPROPAGATION* DENGAN
SAMPEL UJI KANDUNGAN FORMALIN**

(Skripsi)

Oleh

**ARYU KUSMITA
1917041089**



**JURUSAN 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 DENGAN METODE *BACKPROPAGATION* DENGAN SAMPEL UJI KANDUNGAN FORMALIN

Oleh
Aryu Kusmita

Penelitian mengenai rancang bangun *electronic nose (e-nose)* telah dilakukan dengan sampel uji kandungan formalin. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancang bangun *e-nose* yang mampu mengenali kandungan formalin dengan variasi konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm menggunakan JST dengan metode *backpropagation*. Formalin merupakan bahan kimia yang mudah teroksidasi dan termasuk dalam golongan senyawa volatil. Untuk mendeteksi kandungan gas pada formalin, digunakan deret sensor gas yang sensitif terhadap hidroksil, karbon monoksida, dan gugus hidrokarbon. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu MQ-2, MQ-4, MQ-9, dan TGS-2600. Tahap penelitian meliputi pengujian sensor, pengambilan data, analisis tegangan sensor, plot PCA, pelatihan JST, dan analisis kinerja JST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi rancang bangun *e-nose* dapat membedakan kandungan gas pada formalin dan pengolahan data dengan JST menggunakan metode *backpropagation* menunjukkan dengan jelas perbedaan antara pola kandungan gas formalin pada konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm. Analisis dengan menggunakan PCA diperoleh nilai variasi sebesar 98,60% dengan *error value* pelatihan JST sebesar 4,147% pada *hidden layer* 8.

Kata kunci: *backpropagation*, *e-nose*, formalin, JST, PCA.

ABSTRACT

DESIGN SYSTEM OF ELECTRONIC NOSE BASED ON MULTIPLE SENSORS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK WITH BACKPROPAGATION METHOD ON THE FORMALIN CONTENT TEST SAMPLES

By

Aryu Kusmita

A research on the design of an electronic nose (e-nose) with formaldehyde content test samples has been conducted. The aim of this research is to design an e-nose that can identify formaldehyde content with concentration variations of 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm using an Artificial Neural Network (ANN) with the backpropagation method. Formalin is a chemical that is easily oxidized and belongs to the group of volatile compounds. To detect the gas content in formaldehyde, a series of gas sensors sensitive to hydroxyl, carbon monoxide, and hydrocarbon groups are used. The sensors used are MQ-2, MQ-4, MQ-9 and TGS-2600. The research phase includes sensor testing, data collection, sensor voltage analysis, Principal Component Analysis (PCA) plots, ANN training and ANN performance analysis. The research results indicate that the implementation of the e-nose design can differentiate the gas content in formaldehyde, and data processing with the neural network using the backpropagation method clearly shows the differences in the patterns of formaldehyde gas content at concentrations of 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, and 200 ppm. The PCA analysis yielded a variation value of 98.60% with a neural network training error value of 4.147% in the 8 hidden layers.

Keywords: *backpropagation, e-nose, formalin, JST, PCA.*

**RANCANG BANGUN SISTEM *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* BERBASIS
MULTI SENSOR MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN
DENGAN METODE *BACKPROPAGATION* DENGAN
SAMPEL UJI KANDUNGAN FORMALIN**

Oleh
ARYU KUSMITA

Skripsi

Sebagai Salah Satu untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS

Pada
**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



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

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem *Electronic Nose (E-nose)*
Berbasis Multi Sensor Menggunakan Jaringan
Saraf Tiruan dengan Metode *Backpropagation*
dengan Sampel Uji Kandungan Formalin

Nama Mahasiswa : Aryu Kusmita

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041089

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Bandar Lampung, 13 September 2023

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.
NIP.197108291997032001

2. Ketua Jurusan Fisika

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

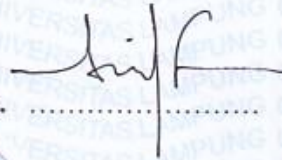
Ketua : Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.



Sekretaris : Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.



Anggota : Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tangga Lulus Ujian Skripsi: 13 September 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, 13 September 2023



Aryu Kusmita
NPM.1917041089

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Aryu Kusmita. Penulis dilahirkan di Lampung Tengah pada 05 April 2001. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Zainal Abidin Abdi Negoro dan Ibu Musriati.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di TK Ma'arif NU 1 Seputih Banyak pada tahun 2007, SDN 2 Tanjung Harapan pada tahun 2013, SMPN 1 Seputih Banyak pada tahun 2016, dan SMAN 1 Kotagajah pada tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2019. Selama menempuh pendidikan, penulis menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT.PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Tanjung Karang Unit TRAGI Tarahan, dengan judul “Analisis *Setting Arus Over Current Relay (OCR)* dan *Ground Fault Relay (GFR)* Menggunakan Alat Uji OMICRON CMC 356 pada *Bay Penghantar 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 Banten, Tanggamus.

Penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi sebagai Staf Ahli Bidang Komunikasi dan Informasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Unila tahun 2019, Anggota Departemen Riset dan Teknologi (Ristek) Saintek Unila tahun 2020, Sekretaris Bidang Sains dan Teknologi (Saintek) HIMAFI FMIPA Unila tahun 2021. Penulis juga sebagai asisten praktikum mata kuliah Elektronika II pada tahun 2022, Fisika Komputasi dan Sensor pada tahun 2023. Penulis pernah mengikuti Kompetisi Nasional Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

(KNMIPA) bidang Fisika tingkat wilayah pada tahun 2020, 2021, dan 2022, peraih medali perunggu Olimpiade Sains Wilayah tingkat Sumatera Bagian Selatan (Sumbagsel) bidang Fisika di Universitas Andalas pada tahun 2020, peraih medali perunggu *National Youth Competition* (NYC) bidang infografis di Universitas Brawijaya pada tahun 2022.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohiim.....

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah SWT, karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orangtuaku: Bapak Zainal Abidin dan Ibu Musriati

Yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan puterinya

Kakakku: Miska Jayanti

Terima kasih atas doa, dukungan serta kasih sayang hingga saat ini.

Bapak dan Ibu Dosen

Terima kasih atas bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun hati dan pikiran, agar saya menjadi lebih baik.

Rekan- Rekan Seperjuangan Fisika 2019

Terima kasih untuk kebersamaan selama kuliah yang begitu berarti. Semoga memori saat itu menjadi kenangan yang tidak terlupakan.

Serta

Almamater Tercinta

“UNIVERSITAS LAMPUNG”

MOTTO

عندما تقرر الاستسلام تذكر لماذا بدأت

Ketika Kamu Memutuskan Untuk Menyerah Ingatlah Untuk Apa Kamu Memulainya
(Petuah Salaf)

Setiap Tempat Adalah Sekolah, Setiap Orang Adalah Guru, dan Setiap Peristiwa Adalah Pelajaran
(Ki Hajar Dewantara)

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 dengan Metode *Backpropagation* dengan Sampel Uji Kandungan Formalin**”. 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, 13 September 2023

Penulis

Aryu Kusmita

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. Ibu Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan ilmu dan bimbingannya dalam penulisan skripsi.
3. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., 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 FMIPA 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 menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Ibu Musriati dan Kakakku Miska Jayanti yang senantiasa memberikan doa,

- semangat, motivasi, pengorbanan, nasihat serta kasih sayang kepada penulis.
10. Teman-teman Fisika khususnya kepada tim *e-nose* yang senantiasa memberikan ilmu, pengalaman, dan informasi selama penulis menyelesaikan skripsi.
 11. Teman-teman seperjuangan Aquarisma Diansari, Ajeng Rianti Dewi, Sohwatunnisa, Diah Ayu Fitriana Dewi, Yuliyana, Daffa Abdul Malik, Rifki Mohamad Kurniawansyah, dan Adhito Dwi Danendra yang telah memberikan motivasi, bantuan, dan 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.

Bandar Lampung, 13 September 2023
Penulis

Aryu Kusmita

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	8
2.2 Teori Dasar.....	11
2.2.1 <i>E-nose</i>	11
2.2.2 Jaringan Syaraf Tiruan (JST).....	13
2.2.3 Metode <i>Backpropagation</i>	17

2.2.4	<i>Metal Oxide Semiconductor (MOS)</i>	21
2.2.5	Sensor yang digunakan	23
2.2.5.1	Sensor MQ-2	24
2.2.5.2	Sensor MQ-4	25
2.2.5.3	Sensor MQ-9	26
2.2.5.4	Sensor TGS 2611	28
2.2.6	NodeMCU ESP	29
2.2.7	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	32
2.2.8	<i>Software Matrix Laboratory (Matlab)</i>	33
2.2.9	Formalin	34
III. METODE PENELITIAN		
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2	Alat dan Bahan	36
3.2.1	Alat-alat Penelitian	36
3.2.2	Bahan-Bahan Penelitian	37
3.3	Prosedur Penelitian	48
3.3.1	Perancangan Alat	42
3.3.2	Sensor Gas Array	44
3.3.3	Perancangan JST	46
3.3.4	Pengujian dan Analisis Sistem <i>E-nose</i>	48
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Realisasi <i>E-nose</i>	51
4.2	Pengembalian Data Sampel dan Pengujian Sensor Gas	54
4.3	Perangkat Lunak JST	56
4.3.1	Pengambilan dan Perekaman Data Sampel	56
4.3.2	Proses <i>Fitting Data</i>	57
4.3.3	Penentuan Puncak	58
4.3.4	Analisis Tegangan Sensor	58
4.3.5	Plot PCA	61
4.3.6	Pelatihan JST	61
4.4	Analisis JST	66

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan 73

5.2 Saran..... 73

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arsitektur JST	10
Gambar 2. 2 Analogi sistem biologi dan <i>e-nose</i>	11
Gambar 2. 3 Prinsip JST	12
Gambar 2. 4. Tahap <i>feed forward</i>	17
Gambar 2. 5 Tahap <i>Backpropagation</i>	19
Gambar 2. 6 Skema prinsip kerja sensor MOS.	20
Gambar 2. 7 Modul sensor MQ-2,MQ-4, dan MQ-9	22
Gambar 2. 8 Grafik sensitivitas MQ-2	23
Gambar 2. 9 Grafik sensitivitas MQ-4	23
Gambar 2. 10 Modul sensor MQ-9	24
Gambar 2. 11 Modul Sensor Gas TGS-2600	25
Gambar 2. 12 Grafik Sensitivitas Sensor TGS 2600	26
Gambar 2. 13 Diagram Pin NodeMCU ESP32S.....	27
Gambar 2. 14 <i>Window</i> matlab	30
Gambar 2. 15 Struktur Formaldehida	31
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	36
Gambar 3. 2 Skema rancangan <i>e-nose</i>	37
Gambar 3. 3 Desain <i>e-nose</i> 3 dimensi (a) depan (b) belakang	44
Gambar 3. 4 Diagram blok sistem <i>e-nose</i>	45
Gambar 3. 5 Rangkaian keseluruhan sensor gas <i>array e-nose</i>	46
Gambar 3. 6 Rangkaian PCB sensor gas <i>array</i> penelitian	47
Gambar 3. 7 Diagram alir perancangan JST.....	48
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)	54
Gambar 4. 3 Realisasi sistem <i>e-nose</i> (Bagian dalam)	54

Gambar 4. 4 Rangkaian <i>array</i> sensor <i>e-nose</i>	55
Gambar 4. 5 Grafik respon sensor (a) MQ-2 (b) MQ-4(c)MQ-9 (d) TGS-2600 terhadap gas metana.....	57
Gambar 4. 6 Grafik respon puncak sensor terhadap gas metana.....	57
Gambar 4. 7 Grafik respon sensor (a) MQ-2 (b) MQ-4(c) MQ-9, dan TGS 2600 terhadap gas karbon monoksida.....	58
Gambar 4. 8 Grafik respon puncak sensor terhadap gas karbon monoksida..	58
Gambar 4. 9 Grafik respon sensor terhadap variasi konsentrasi formalin.....	59
Gambar 4. 10 PCA variasi konsentrasi kandungan formalin	59
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
Gambar 4. 15 Jumlah <i>neuron hidden layer</i> optimal	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik fisika dan kimia formalin.....	32
Tabel 3. 1 Jadwal pelaksanaan penelitian.....	34
Tabel 3. 2 Bahan-bahan penelitian	39
Tabel 3. 3 Data kalibrasi sensor gas	43
Tabel 3. 4 Jumlah <i>node</i> pada lapisan tersembunyi	47
Tabel 3. 5 Data latih sistem <i>e-nose</i>	48
Tabel 3. 6 Rancangan tabel <i>confusion matrix</i>	49
Tabel 4.1 Volume metana dan karbon monoksida pada penelitian.....	56
Tabel 4. 2 Volume gas formalin	53
Tabel 4. 3 Bobot positif pada <i>hidden layer 4</i>	63
Tabel 4. 4 <i>Neuron hidden layer 4</i> yang berpengaruh	64
Tabel 4. 5 Total bobot positif pada <i>hidden layer 4</i>	64
Tabel 4. 6 Bobot positif pada <i>hidden layer 8</i>	65
Tabel 4. 7 <i>Neuron hidden layer 8</i> yang berpengaruh	54
Tabel 4. 8 Total bobot positif pada <i>hidden layer 8</i>	65
Tabel 4. 9 Total bobot positif pada seluruh <i>hidden layer</i>	66
Tabel 4. 10 Hasil prediksi <i>hidden layer 8</i>	67
Tabel 4. 11 Analisis Parameter JST (<i>Hidden Layer 4</i>).....	67
Tabel 4. 12 Hasil prediksi <i>hidden layer 8</i>	68
Tabel 4. 13 Analisis parameter JST <i>hidden layer 8</i>	68
Tabel 4. 14 Parameter JST per <i>neuron hidden layer</i>	68
Tabel 4. 15 Nilai rata-rata parameter JST <i>hidden layer 8</i>	71
Tabel 4. 16 Tabel <i>Binary Confusion Matrix</i>	72

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi sensor, biokimia, dan kecerdasan buatan mampu mendorong dikembangkannya perangkat yang dapat mengukur dan mengkarakterisasi gas yang mudah menguap untuk berbagai aplikasi. Metode instrumental untuk menentukan *Volatile Organic Compounds* (VOC), seperti *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) membutuhkan biaya dan tenaga ahli. Oleh karena itu, banyak dikembangkannya perangkat untuk analisis VOC yang cepat, murah, dan tidak memerlukan tenaga ahli salah satunya menggunakan sensor gas. Sensor gas dapat menggabungkan lapisan pendeteksi bahan kimia dan mengubah interaksi kimia menjadi sinyal terukur untuk dapat melakukan pendeteksian gas VOC yang cepat dan murah dengan interpretasi sederhana (Scott, *et al.*, 2006). Alat pendeteksi berbasis sensor gas dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah, misalnya keterbatasan kemampuan hidung manusia dalam melakukan analisis zat-zat berbahaya, serta mahalnya biaya analisis menggunakan GC-MS mendorong dikembangkannya instrumen *electronic nose* atau *e-nose* dengan sensor gas yang mampu melakukan pendeteksian secara berulang dan cepat dengan presisi yang tinggi (Hidayat *et al.*, 2019).

E-nose merupakan sistem yang dirancang untuk mendeteksi aroma kompleks pada objek menggunakan larik sensor. Larik sensor tersebut terdiri dari sensor gas yang berfungsi sebagai reseptor (Sa'diyah *et al.*, 2009). Setiap reseptor memberikan respon yang berbeda meskipun dari uap aroma yang sama. Hal ini disebabkan sensor gas memiliki sensitivitas berbeda pada setiap aroma yang dikeluarkan sensor gas dapat mengenali semua jenis zat biologis atau kimiawi yang sensitif terhadap aroma dengan proses pelatihan. Pola gas sampel dan sidik jari tangan digunakan

membangun dan melatih sistem pengenalan untuk mendeteksi dan menganalisis aroma yang tidak diketahui (Widodo, 2019).

Aroma yang terdeteksi oleh sensor gas pada sistem *e-nose* ditandai dengan adanya perubahan resistansi masing-masing sensor gas. Perubahan hambatan masing-masing sensor gas akan menyebabkan perubahan tegangan. Data yang diperoleh dari perubahan tegangan ini berupa data analog dari mikrokontroler. Keunggulan *e-nose* dibandingkan dengan indera penciuman manusia dalam mendeteksi aroma antara lain memiliki objektivitas yang lebih tinggi, respon yang tidak berubah-ubah dengan waktu, dan mendukung keberhasilan analisis karena dapat dilakukan secara rutin. Kemudian data tersebut dapat diolah dengan metode JST untuk mengenali sampel dengan aroma yang kompleks (Ismarti, 2021).

Secara umum JST merupakan perangkat non parametrik dengan parameternya mempunyai kemampuan beradaptasi terhadap jumlah *neuron*, lapisan dan *epoch* untuk mengoptimalkan struktur modelnya (Pratiwi *et al.*, 2019). Sistem komputasi, arsitektur dan operasi dari JST terinspirasi dari sel saraf dalam otak manusia. JST memiliki beberapa elemen *neuron* yang saling terhubung. *Neuron-neuron* tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima menuju *neuron* lainnya (Jauhari *et al.*, 2016). JST dapat digunakan dalam pengenalan pola untuk peramalan atau prediksi, deteksi kemiripan, klasifikasi serta *clustering* (Zola *et al.*, 2018). Penggunaan JST yang diterapkan untuk klasifikasi salah satunya yaitu metode *backpropagation*. Penggunaan analisis JST menggunakan metode *backpropagation* telah banyak digunakan untuk mendeteksi senyawa berbahaya seperti sarin, boraks, dan formalin (Hidayat *et al.*, 2019).

Deteksi untuk mengetahui kandungan formalin sudah banyak dilakukan diantaranya dengan cara menggunakan spektrofotometer *ultraviolet* (UV), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dan *Gas Chromatography* (GC). Penggunaan metode ini relatif selektif dan sensitif akan tetapi memerlukan waktu analisis yang lama dan tidak ekonomis karena harganya yang mahal (Regiesa, *et al.*, 2015).

Formalin dapat diperoleh dalam bentuk cair maupun padat. Secara kasat mata tanda-tanda formalin dalam bahan pangan masih tidak mudah diidentifikasi. Secara teknis, formalin merupakan larutan yang tidak berwarna dengan bau yang sangat tajam dan mengandung sekitar 37% *formaldehyde* (CH_2O) dalam air (Gunawan & Sudarmadji, 2013). Pada larutan formalin juga terdapat bahan tambahan berupa metanol hingga 15% yang berfungsi sebagai pengawet (Negari *et al.*, 2006). Formalin memiliki sifat yang mudah menguap di udara dengan aroma yang sangat tajam atau menyengat. Indra penciuman yang terhirup formalin akan mengalami gangguan apabila terpapar secara terus menerus yang dapat mengakibatkan gangguan saraf penciuman (Rendyansyah *et al.*, 2018). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat menggantikan peran dari indra penciuman. Prinsip penciuman elektronik dapat diaplikasikan untuk mendeteksi formalin, yaitu dengan menggunakan beberapa sensor gas yang selektif dan sensitif terhadap kandungan gas pada formalin (Mulyadi & Arsianti, 2015).

Beberapa peneliti telah mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi berbagai jenis aroma, Gunawan & Jazuli (2013) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor polimer dengan sampel uji kandungan formalin pada mie, bakso, dan tahu dengan empat kondisi pada saat pengujian, yaitu tanpa pemanas dan pemanas (400 °C, 500 °C, 600 °C) dengan perulangan pengujian sebanyak tiga kali. Hasil penelitian tersebut menunjukkan persentase rata-rata hasil, yaitu, tanpa formalin sebesar 91,7% dengan formalin sebesar 75%.

Rabersyah *et al.* (2016) telah mengembangkan *e-nose* yang terdiri dari 5 unit sensor gas yaitu TGS 2610, TGS 2611, TGS 2602, TGS 2620 dan TGS 822, arduino, dan PC. Sampel uji yang digunakan pada penelitian ini berupa kandungan gas yang terdapat pada kopi arabika (*Coffea Arabica*) dan kopi robusta (*Coffea Robusta*). Sistem kerja *e-nose* yaitu, sensor mendeteksi adanya perbedaan unsur gas dari kedua aroma bubuk kopi sehingga resistansi dari sensor mengalami perubahan dan mengakibatkan perubahan tegangan yang berpengaruh pada nilai konsentrasi zat di dalamnya. Kemudian data tersebut diproses *analog digital converter* (ADC) dan dianalisis menggunakan *JST backpropagation*. Hasil penelitian didapat tingkat keberhasilan 40 % untuk arabika, 100 % untuk robusta dan 100 % untuk tanpa kopi.

Baskara *et al.* (2016) telah mengembangkan *e-nose* yang terdiri dari sensor MQ-9, TGS-2600, MQ-2, MQ-4, TGS-2620, dan TGS-822 dan ruang sampel berbahan *stainless steel* untuk mengklasifikasikan aroma sampel minyak goreng murni dan campuran kelapa sawit dan kelapa. Pengujian sistem *e-nose* dilakukan dengan memanaskan sampel berupa minyak goreng jenis minyak sawit dan minyak kelapa beserta campurannya berupa oli bekas, lilin, dan solar hingga suhu 300°C untuk memunculkan aromanya yang kemudian dianalisis metode PCA. Hasil pengujian dan pengolahan dengan metode PCA menunjukkan bahwa *e-nose* yang dibuat mampu mengklasifikasi minyak goreng jenis minyak kelapa dan minyak sawit murni dengan minyak goreng jenis minyak kelapa dan minyak sawit campuran.

Yosmawati *et al.* (2022) telah mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi formalin pada ikan pindang menggunakan sensor HCHO, sensor MQ-3, dan TGS 2611 dan Arduino Mega 2560 R3 untuk mengidentifikasi kandungan formalin pada ikan pindang yang dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu aman untuk ikan pindang formalin rendah, waspada untuk ikan pindang ambang batas formalin, dan tidak aman untuk ikan pindang berformalin tinggi menggunakan metode logika *fuzzy*. Pengujian sampel ikan yang di deteksi kandungan formalinnya akan dimasukkan ke dalam wadah tertutup agar proses pendeteksian objek tidak terpengaruh oleh zat lainnya, di dalam tempat tersebut yang dilengkapi aerator untuk mempercepat penguapan formalin pada objek. Ketika gas formalin sudah menguap secara otomatis sensor gas akan membaca kandungan gas pada sampel kemudian ruang sampel memberi sinyal *input* berupa nilai analog yang akan dikonversikan mikrokontroler Arduino Mega 2560 R3 melalui proses *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk mendapatkan nilai digital. Dari data tersebut kemudian dianalisis menggunakan logika *fuzzy* dengan cara *range* setiap sensor akan dijadikan sebagai domain *fuzzy* yang akan diklasifikasikan menjadi tiga himpunan *fuzzy* yaitu aman, waspada, dan tidak aman. Hasil dari pembacaan ketiga sensor tersebut didapatkan tingkat ketelitian untuk *e-nose* yang dibuat berdasarkan perhitungan sebesar 92% akurat.

Fadhillah (2019) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor MQ-3, TGS-2600, dan TGS-2602 untuk mendeteksi gas etanol sedangkan TGS 2611 dan TGS-

822 untuk mendeteksi gas aseton. Sistem *e-nose* yang dibangun menggunakan JST dengan metode *backpropagation* dan dilatih menggunakan *neural network* (NN). Sampel uji yang digunakan adalah gas VOC yang ada pada bau pernapasan pasien penderita penyakit *Diabetes 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%.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian mengenai pembuatan rancang bangun sistem *e-nose* berbasis sensor gas *metal-oxide semiconductor* (MOS) menggunakan metode JST dengan metode *back propagation*. Sensor yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Sensor MQ-2, MQ-4, MQ-9, dan TGS-2600 untuk mendeteksi gas metana (CH_4) dan gas karbon monoksida (CO). Sampel uji yang digunakan adalah kandungan formalin dari berbagai variasi konsentrasi. Sebelum digunakan, semua sensor akan dikarakterisasi dan diuji tingkat sensitifitasnya masing-masing dengan cara memberikan gas karbon monoksida dan metana dengan konsentrasi *parts per million* (ppm) tertentu. Gas sampel akan dianalisis di dalam *chamber* terhubung dengan pompa untuk mengontrol gas yang ada di *chamber*. *E-nose* akan dilatih untuk membedakan formalin dengan beberapa variasi konsentrasi melalui aroma yang dihasilkan dari sampel tersebut. Data yang diperoleh dari proses pelatihan akan diolah menggunakan JST. Metode JST yang digunakan adalah *backpropagation* yang dibuat menggunakan *Software Matlab 2013a*. Setelah *e-nose* berhasil mendeteksi kandungan formalin dari berbagai konsentrasi, maka akan dilakukan pengambilan data pada sampel yang digunakan pada penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana membuat rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* untuk mengenali gas penyusun kandungan formalin, seperti metana dan karbon monoksida

2. Bagaimana membuat JST untuk mengenali kandungan formalin dengan variasi konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini sebagai berikut.

1. Membuat rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* untuk mengenali gas penyusun kandungan formalin, seperti metana dan karbon monoksida.
2. Membuat sistem *e-nose* yang mampu membedakan kandungan senyawa formalin pada variasi konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Sebagai alat alternatif yang mampu mendeteksi adanya kandungan senyawa formalin pada beberapa variasi konsentrasi.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan aplikasi *e-nose* kedepannya.

1.5 Batasan Masalah

1. Metode JST yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *back propagation*.
2. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah formalin dengan konsentrasi (50, 100, 150, dan 200) ppm.
3. *E-nose* dilatih untuk mengidentifikasi kandungan formalin dengan berbagai variasi konsentrasi.
4. Penelitian hanya terbatas pada perkembangan bau yang ada sampel.
5. Sensor gas yang digunakan adalah MQ-2, MQ-4, MQ-9, TGS-2600.
6. *Hidden layer* yang digunakan pada pelatihan JST berjumlah 4 dan 8.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai pengembangan terhadap sistem *e-nose* menggunakan *array* sensor gas yang telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti, masing-masing mempunyai karakteristik dan tujuan yang berbeda. Beberapa diantaranya digunakan sebagai dasar untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Gunawan & Jazuli (2013) telah telah mengembangkan *e-nose* berbahan sensor polimer dengan sampel uji kandungan formalin pada produk makanan, yaitu mie, bakso, dan tahu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu membuat sensor gas berbahan polimer, membuat instrumentasi pengujian untuk mengkarakterisasi resistansi sensor, membuat *chamber* yang akan digunakan untuk pengujian bahan pangan, merancang akuisisi hasil pengukuran ke komputer, mendesain JST pada *software* Matlab yang telah diprogram dalam mikrokontroler berdasarkan pembelajaran *pattern* tegangan *output* dari keenam sensor pendeteksi formalin berbasis (*Personal Computer*) PC, menguji beberapa komoditas bahan pangan. Luaran penelitian ini adalah alat pendeteksi formalin menggunakan sensor gas berbahan polimer beserta *software* Matlab untuk proses pengidentifikasiannya. Bahan makanan yaitu bakso, tahu dan mie dengan empat kondisi tanpa pemanas, dengan pemanas (400 °C, 500 °C, 600 °C) dan perulangan pengukuran sebanyak tiga kali. Hasil pengujian menunjukkan persentase rata-rata hasil, yaitu, tanpa formalin sebesar 91,7% dan berformalin sebesar 75%.

Rabersyah *et al.*, (2016) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan lima unit sensor gas, yaitu TGS 2610, TGS 2611, TGS 2602, TGS 2620 dan TGS 822 dengan sampel uji kandungan gas yang terdapat pada kopi. Terdapat dua jenis utama kopi yang digunakan kopi arabika (*Coffea Arabica*) dan kopi robusta (*Coffea Robusta*).

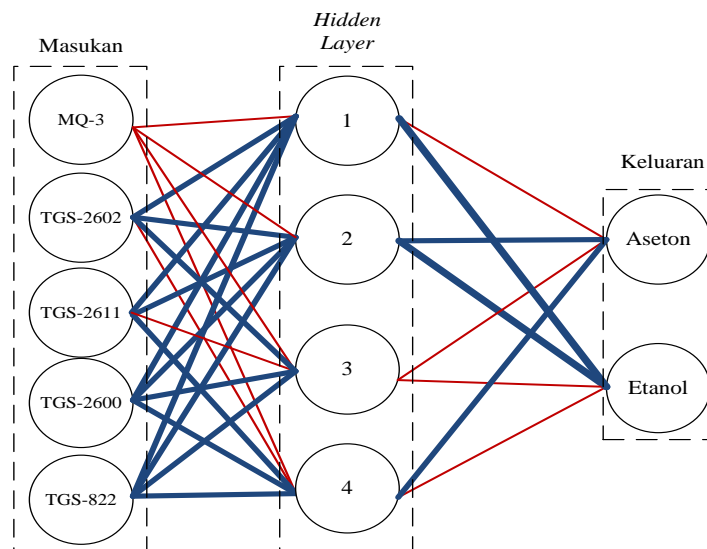
Sistem yang dibangun pada penelitian ini menggunakan 5 sensor, arduino sebagai mikrokontroler dan PC yang akan menerima *input* sinyal dari beberapa set sensor gas. Ketika sensor mendeteksi adanya unsur gas dari aroma bubuk kopi maka resistansi dari sensor akan berubah sehingga mengakibatkan perubahan tegangan. Resistansi sensor akan menurun tergantung konsentrasi zat yang terdeteksi, semakin kuat konsentrasi zat yang terdeteksi maka semakin rendah resistansi sensor. Kemudian sinyal akan diproses oleh rangkaian pengkondisi sinyal untuk diteruskan ke rangkaian ADC untuk dikonversi ke dalam bentuk digital. Sinyal dalam bentuk digital inilah yang akan diteruskan ke PC untuk diolah menggunakan *JST backpropagation*. Pola data diperoleh dari perubahan resistansi masing – masing sensor apabila mendeteksi aroma kopi yang mengakibatkan perubahan tegangan. Pola data tersebut akan diolah menggunakan *JST backpropagation*. Arsitektur *JST backpropagation* yang digunakan dibentuk dari 5 *neuron input*, 6 *neuron hidden*, dan 2 *neuron output*. Hasil pengujian menggunakan *e-nose* dengan metode *JST backpropagation* mampu melakukan identifikasi dengan tingkat keberhasilan 40 % untuk arabika, 100 % untuk robusta, dan 100 % untuk tanpa kopi.

Baskara *et al.* (2016) telah mengembangkan *e-nose* berbasis larik sensor gas tidak terseleksi (*unselected*). Pada ruang sensor terdapat larik sensor yang terdiri dari sensor MQ-9, TGS-2600, MQ-2, MQ-4, TGS-2620, dan TGS-822 serta sebuah sistem pertukaran panas yang mampu untuk mereduksi temperatur uap sampel. Ruang sampel dan ruang sensor terbuat dari bahan *stainless steel* berbentuk tabung. Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu minyak goreng murni dan campuran kelapa dan kelapa sawit. Pengujian sistem *e-nose* dilakukan dengan memanaskan sampel berupa minyak goreng jenis minyak sawit dan minyak kelapa beserta campurannya berupa oli bekas, lilin, dan solar hingga suhu 300°C untuk memunculkan aromanya. Setelah aroma berhasil dideteksi oleh *e-nose* selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan menggunakan metode PCA untuk memperoleh grafik PCA untuk mengetahui *node* setiap variabel data yang secara otomatis akan mengklasifikasikan sendiri keluaran data. Hasil pengujian dan pengolahan dengan metode PCA menunjukkan bahwa *e-nose* yang dibuat mampu mengklasifikasi minyak goreng jenis minyak kelapa dan minyak sawit murni dengan minyak goreng

jenis minyak kelapa dan minyak sawit campuran namun terdapat beberapa data yang saling beririsan (Baskara *et al.*, 2016).

Yosmawati *et al.* (2022) telah mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi formalin pada ikan pindang menggunakan sensor HCHO, sensor MQ-3, dan TGS 2611 dan Arduino Mega 2560 R3 untuk mengidentifikasi kandungan formalin pada ikan pindang yang dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu aman untuk ikan pindang formalin rendah, waspada untuk ikan pindang ambang batas formalin, dan tidak aman untuk ikan pindang berformalin tinggi menggunakan metode logika *fuzzy*. Pengujian sampel ikan yang di deteksi kandungan formalinnya akan dimasukkan ke dalam wadah tertutup agar proses pendeteksian objek tidak terpengaruh oleh zat lainnya, di dalam tempat tersebut yang dilengkapi aerator untuk mempercepat penguapan formalin pada objek. Ketika gas formalin sudah menguap secara otomatis sensor gas akan membaca kandungan gas pada sampel kemudian ruang sampel memberi sinyal *input* berupa nilai analog yang akan dikonversikan mikrokontroler Arduino Mega 2560 R3 melalui proses ADC untuk mendapatkan nilai digital. Dari data tersebut kemudian dianalisis menggunakan logika *fuzzy* dengan cara *range* setiap sensor akan dijadikan sebagai domain *fuzzy* yang akan diklasifikasikan menjadi tiga himpunan *fuzzy* yaitu aman, waspada, dan tidak aman. Hasil dari pembacaan sensor tersebut didapatkan tingkat ketelitian untuk *e-nose* yang dibuat berdasarkan perhitungan sebesar 92% akurat.

Fadhlillah (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 Compound* (VOC) pada bau pernapasan pasien penderita penyakit *Diabetes Melitus* dan orang normal. Sistem *e-nose* penelitian ini menggunakan JST dengan metode *backpropagation*. 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**.



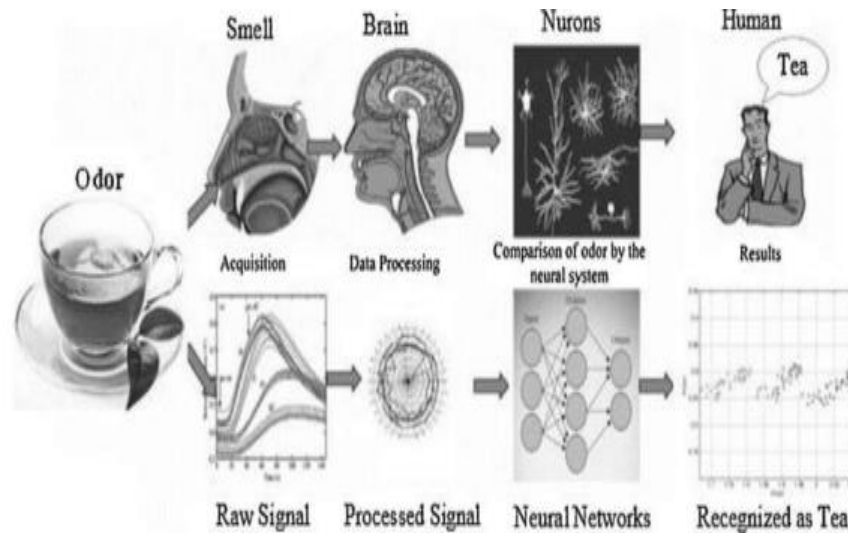
Gambar 2. 1 Arsitektur JST (Fadhilillah,2019).

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).

2.2 Teori Dasar

2.2.1 *E-nose*

E-nose merupakan sistem penciuman buatan untuk menganalisis, mengenali, dan mendeteksi aroma yang sederhana maupun kompleks dari senyawa yang menguap (Yulia Sari, dkk 2019). Tujuan pembuatan sistem *e-nose* yaitu untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan aroma secara otomatis. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan sistem penciuman manusia yang bersifat subjektif dan bergantung pada keadaan, kesehatan, dan psikologinya. Secara umum *e-nose* memiliki prinsip yang sama dengan sistem penciuman manusia yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Analogi sistem biologi dan *e-nose* (Jumianto *et al.*, 2020).

Sistem *e-nose* terdiri dari berbagai macam bagian, yaitu bagian larik sensor, pengkondisian sinyal, *Analog to Digital Converter* (ADC), mikrokontroler, komunikasi serial, akuisisi data, *signal processing*, dan *Principal Component Analysis* (PCA) (Dennler *et al.*, 2022). Terdapat beberapa jenis sensor gas yang biasa digunakan untuk *e-nose* antara lain *Conducting Polymers* (CP), *Metal Oxide Semiconductor* (MOS), *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dan *Sensor Surface Acoustic Wave* (SAW) (Kalaij, 2022).

Terdapat dua jenis pengujian sampel menggunakan *e-nose* yaitu, *direct* dan *indirect*. Pada *direct* atau langsung, yaitu pengujian dilakukan dengan menghadapkan langsung *e-nose* pada objek uji dengan jarak yang sangat dekat antara sensor dan aroma objek uji. Namun pada model *direct* ini masih terdapat gangguan aroma dari udara sekitar sehingga mengganggu pembacaan sensor. Pada model *indirect* pengujian dilakukan dengan mengambil aroma objek uji melalui aliran udara yang dibawa dari ruang sampel objek uji sehingga pengaruh aroma dari udara di luar dapat diminimalisir agar tidak mengganggu pembacaan sensor (Pearce *et al.*, 2003). Tujuan dalam pengembangan *e-nose* adalah merancang sistem ukuran kecil yang mudah digunakan untuk pemantauan secara langsung dan maupun secara tidak langsung (Simamora, 2017).

Perangkat *e-nose* menawarkan banyak kegunaan dan keuntungan dalam berbagai aplikasi karena prinsip kerja *e-nose* yang cepat, murah, dan portabel yang mampu mengukur campuran kompleks senyawa volatil. Sistem *e-nose* setidaknya memiliki empat bagian dengan berbagai fungsi, yaitu memastikan kecukupan campuran gas dan pengambilan fungsi sampel, *array* sensor gas melakukan pendeteksian, bagian elektronik kontrol diperlukan untuk pengelolaan susunan sensor dan kecukupan sinyal, dan komputer digunakan untuk membuat algoritma klasifikasi pola yang sesuai dengan karakteristik masing-masing aroma (Macias *et al.*, 2014).

2.2.2 Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

JST merupakan suatu sistem komputasi yang struktur dan operasinya didasarkan pada pengetahuan sel-sel saraf biologis di otak, yang dapat digambarkan sebagai model matematika dan komputasi untuk klasifikasi data menggunakan *cluster*, *regresi non-parametrik* atau model kumpulan jaringan saraf (Lestari *et al.*, 2017). JST diimplementasikan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama pembelajaran. JST bekerja meniru kerja otak manusia dari sudut pengetahuan yang diperoleh *network* dari lingkungan, melalui suatu proses pembelajaran dan kekuatan koneksi antar unit yang disebut *synaptic weight*. Karakteristik lain yang penting dari JST yang sama dengan sistem saraf biologis adalah toleransi kesalahan (Amrizal&Aini, 2013).

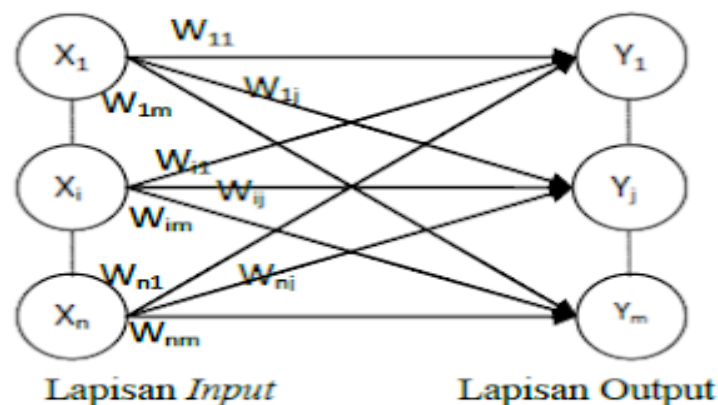
Baik tidaknya suatu model JST salah satunya ditentukan oleh hubungan antar *neuron* atau yang biasa disebut sebagai arsitektur jaringan. *Neuron-neuron* tersebut terkumpul dalam lapisan-lapisan yang disebut *neuron layer*. Lapisan-lapisan penyusun JST dibagi menjadi tiga, yaitu

1. Lapisan *Input (Input Layer)*, yaitu unit-unit *input* yang bertugas menerima pola *inputan* dari luar yang menghubungkan ke sumber data;
2. Lapisan Tersembunyi (*Hidden Layer*), yaitu unit-unit tersembunyi yang mana nilai *outputnya* tidak dapat diamati secara langsung;
3. Lapisan *Output (Output Layer)*, yaitu unit-unit *output* yang merupakan solusi JST terhadap suatu permasalahan yang menghubungkan ke hasil data (Zola *et al.*, 2018).

JST dirancang dengan menggunakan suatu aturan yang bersifat menyeluruh (*general rule*) dimana seluruh model jaringan memiliki konsep dasar yang sama. Arsitektur sebuah jaringan akan menentukan keberhasilan target yang akan dicapai karena tidak semua permasalahan dapat diselesaikan dengan arsitektur yang sama. Secara umum arsitektur JST dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

1. *Single-Layer Feedforward Networks*, yaitu JST berlapis dengan jaringan *neuron* yang diorganisasikan dalam bentuk lapisan-lapisan. Hanya terdapat *input layer* dengan *node* sumber yang terproyeksi ke dalam *output layer* dari *neuron*, tetapi tidak sebaliknya;
2. *MultiLayer Feedforward Networks*, yaitu kelas kedua dari *feedforward neural networks* dengan jaringan yang berhubungan disebut *hidden neuron* yang terdiri dari:
 - a. *Recurrent Networks*, yaitu jaringan yang minimal satu *feedback loop*;
 - b. *Lattice Structure*, yaitu sebuah *lattice* (kisi-kisi) terdiri dari satu dimensi, dua dimensi, atau lebih *array neural* dengan himpunan *node* sumber yang bersesuaian yang memberi sinyal *input* ke *array* (Sovia, 2018).

Prinsip JST ditentukan oleh tiga elemen dasar model saraf, yaitu satu set sinapsis atau jembatan yang diklasifikasikan menurut beratnya, penambahan sinyal *input* yang sebanding dengan kekuatan sinapsis setiap *neuron*, dan fungsi aktivasi untuk membatasi amplitudo keluaran *neuron*. Fungsi ini dirancang untuk membatasi kisaran amplitudo yang diizinkan dari sinyal keluaran ke jumlah yang terbatas. Arsitektur JST secara sederhana digambarkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Arsitektur JST (Yusran, 2016).

Gambar 2.3 menunjukkan arsitektur dari JST dengan dua lapisan. Garis-garis yang menghubungkan *neuron* pada masing-masing lapisan memiliki bobot tertentu (Shovic & Simpson, 2019).

Secara umum JST dibagi menjadi dua proses yaitu pelatihan dan pengujian. Selama pelatihan, konfigurasi jaringan dapat dilatih untuk mempelajari data historis yang ada. Melalui pelatihan, pengetahuan yang terkandung dalam data, dapat diserap dan direpresentasikan oleh nilai bobot koneksi. Pengujian dilakukan untuk memperoleh ketepatan model yang diperoleh proses pelatihan (Sihombing *et al.*, 2011). JST memiliki sifat yang adaptif, yaitu dapat belajar dari data sebelumnya dan dapat mengenal pola data yang selalu berubah (Alqurni *et al.*, 2016). Kemampuan JST sangat baik terbukti dari beberapa aplikasi JST sangat cocok untuk diterapkan pada klasifikasi, asosiasi, *self organizing*, dan optimasi. (Musthofa *et al.*, 2017).

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

1. Pendekatan 1

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

$$N_h = N_i \quad (2.1)$$

2. Pendekatan 2

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

$$N_h = N_o \quad (2.2)$$

3. Pendekatan 3

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

$$N_h = N_i + N_o \quad (2.3)$$

Dengan N_h , yaitu jumlah *neuron* pada lapisan tersembunyi. N_i , yaitu jumlah *neuron* pada lapisan masukan. N_o , yaitu jumlah *neuron* pada lapisan keluaran.

Evaluasi kinerja JST dilakukan menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* merepresentasikan hasil prediksi dan kondisi sebenarnya dari data yang dihasilkan oleh JST. Berdasarkan *confusion matrix* dapat diketahui nilai *True Negative* (TN), *True Positive* (TP), *False Negative* (FN), *False Positive* (FP) terlebih dahulu sehingga dapat diperoleh nilai parameter JST. Berikut adalah parameter-parameter yang dapat digunakan untuk meningkatkan performa JST (Mazen & Nashat, 2019).

1. Akurasi

Akurasi (AC) merupakan rasio prediksi **Persamaan (2.4)**.

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

benar negatif (TN) dan benar positif (TP) terhadap total data. AC dapat dihitung menggunakan

2. Sensitivitas

Sensitivitas (SN) merupakan rasio TP terhadap TP dan salah negatif (FN). SN dihitung menggunakan **Persamaan (2.5)**.

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

3. Spesifisitas

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

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

4. Presisi

Presisi (PR) merupakan TP terhadap 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 (PN) merupakan TP dan FN. Prediksi Negatif dihitung menggunakan yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.8)**.

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

Dengan TP, yaitu jumlah prediksi yang benar dan jumlah nilai asli yang benar setiap kelas yang diuji. TN, yaitu jumlah prediksi yang salah dan jumlah nilai asli yang

benar setiap kelas yang diuji. FP, yaitu prediksi yang bernilai benar dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji. FN, yaitu jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji.

2.2.3 Metode *Backpropagation*

Metode *Backpropagation* merupakan metode pembelajaran lanjut yang dikembangkan dari aturan perceptron. Metode *Backpropagation* merupakan model yang menggunakan pembelajaran terpadu di JST. Algoritma ini biasanya digunakan untuk menyelesaikan masalah yang kompleks, karena algoritma dilatih menggunakan metode pembelajaran. Metode *backpropagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan, serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan (Rabersyah, 2016). Metode *backpropagation* memiliki proses pembelajaran maju (*feed forward*) dan fungsi koreksi kesalahan mundur (*backpropagation error*) (Suhartanto *et al.*, 2017). *Backpropagation* memiliki ciri 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 *et al.*, 2016). Secara garis besar pelatihan jaringan dengan metode *backpropagation* meliputi tiga tahapan sebagai berikut.

a. Tahap maju (*feedforward*)

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

b. Tahap perhitungan *error* propagasi balik (*back propagation 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;

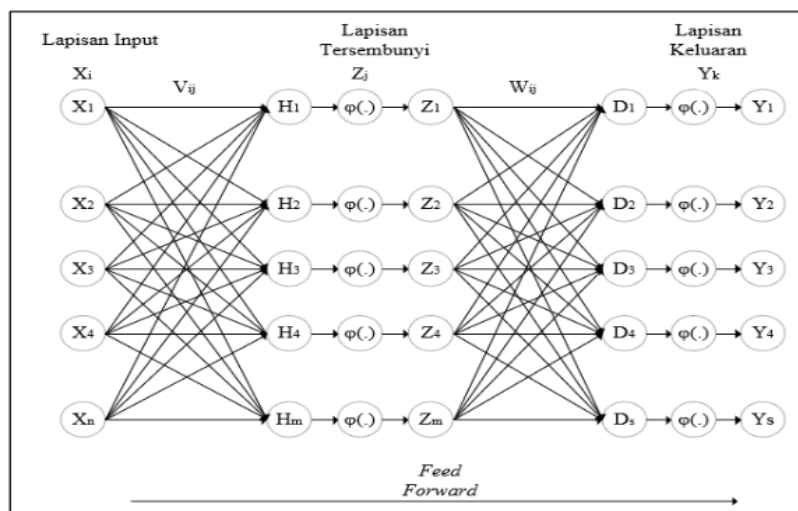
c. Tahap pembaharuan bobot dan bias (*adjustment of the weights and biases*)

Jika keluaran yang diharapkan tidak sesuai maka jaringan akan mundur (*backward*) dari lapisan keluaran ke lapisan masukan untuk perlu memperbarui

bobot dan mengulangi proses dari tahap satu (Satria, 2018).

Tujuan dari metode *backpropagation* 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 adaptif atau kumpulan data dapat disesuaikan dan memiliki kesalahan *error* kecil (Sudarsono, 2016).

Pembuatan JST dengan metode *backpropagation* adalah melakukan inisialisasi bobot awal. Bobot awal yang dimasukkan adalah nilai acak antara 0 sampai 1. Tahap pertama pembuatan JST dengan metode *backpropagation* adalah tahap *feed forward*. Proses ini secara lebih jelas ditunjukkan oleh **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. Tahap *feed forward* (Graupe, 2006).

Tahap *feed forward* dimulai dengan menerima sinyal masukan dari sensor ($X_i, i=1, 2, \dots, n$) dan menjelaskan sinyal tersebut dari setiap *neuron* pada lapisan masukan ke lapisan selanjutnya ($Z_j, j=1, 2, \dots, p$) dilakukan penjumlahan bobot dengan sinyal masukannya ditunjukkan pada **Persamaan (2.9)**.

$$Z_{in_j} = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_j \quad (2.9)$$

Diterapkan fungsi aktivasi untuk menghitung nilai sinyal keluaran ditunjukkan pada **Persamaan (2.10)**.

$$Z_j = f(Z_{in_j}) \quad (2.10)$$

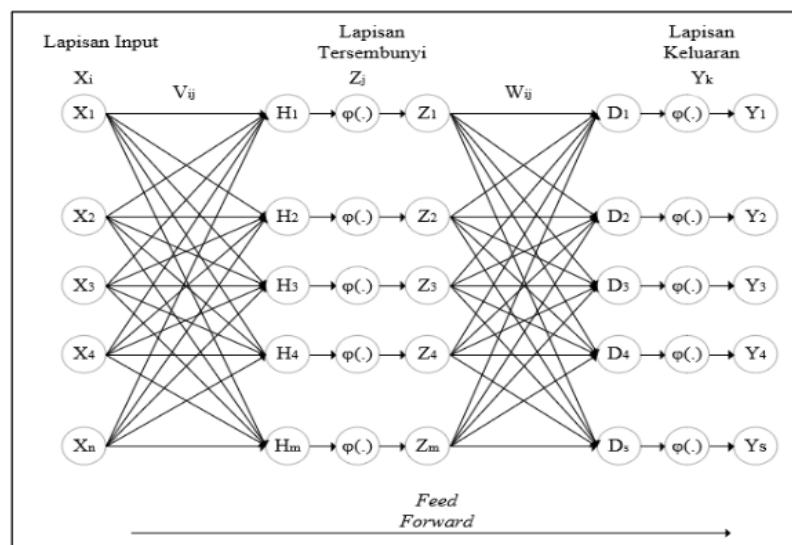
Kemudian sinyal dikirim ke semua *neuron* pada lapisan keluaran (Y_k , $k=1, 2, \dots, m$), dilakukan penjumlahan bobot dengan sinyal masukan ditunjukkan pada **Persamaan(2.11)**.

$$Yin_k = w_{0j} + \sum_{i=1}^p Z_j w_k \quad (2.11)$$

Fungsi aktivasi diterapkan untuk menghitung nilai sinyal keluaran ditunjukkan pada **Persamaan (2.12)**.

$$Y_k = f(Yin_k) \quad (2.12)$$

Proses selanjutnya yaitu tahap *backpropagation of error*. Proses ini bertujuan untuk menentukan nilai galat pada lapisan tersembunyi. Proses ini ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 Tahap *Backpropagation* (Graupe, 2006).

Tahap *back propagation of error* dimana setiap *neuron* pada lapisan keluaran menerima pola target yang berhubungan dengan pola masukan pelatihan kemudian menghitung kesalahannya ditunjukkan pada **Persamaan (2.13)**.

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(yin_k) \quad (2.13)$$

Perubahan bobot dihitung yang digunakan untuk mengubah w_{jk} ditunjukkan pada **Persamaan (2.14)**.

$$\Delta w_{jk} = \alpha \cdot \delta_k \cdot z_k \quad (2.14)$$

Perubahan bias dihitung yang digunakan untuk mengubah nilai w_{0k} ditunjukkan **Persamaan(2.15)**.

$$\Delta w_{0k} = \alpha \cdot \delta_k \quad (2.15)$$

Penjumlahan nilai delta masukan dilakukan untuk setiap *neuron* pada lapisan tersembunyi pada lapisan di atasnya ditunjukkan pada **Persamaan (2.16)**.

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (2.16)$$

Perkalian dilakukan dengan turunan aktivitasnya untuk menghitung nilai kesalahan ditunjukkan pada **Persamaan (2.17)**.

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(Z_{in_k}) \quad (2.17)$$

Perubahan bobot dihitung yang akan digunakan untuk mengubah nilai v_{ij} Kemudian dihitung perubahan biasnya yang digunakan untuk mengubah nilai v_{0j} ditunjukkan pada **Persamaan (2.18)**.

$$\Delta v_{0j} = \alpha \cdot \delta_j \quad (2.18)$$

Terakhir adalah melakukan *update* nilai bobot dan bias dengan mengganti nilai bobot dan bias pada lapisan keluaran ditunjukkan pada **Persamaan (2.19)**.

$$w_{jk(\text{baru})} = w_{jk(\text{lama})} + \Delta w_{jk} \quad (2.19)$$

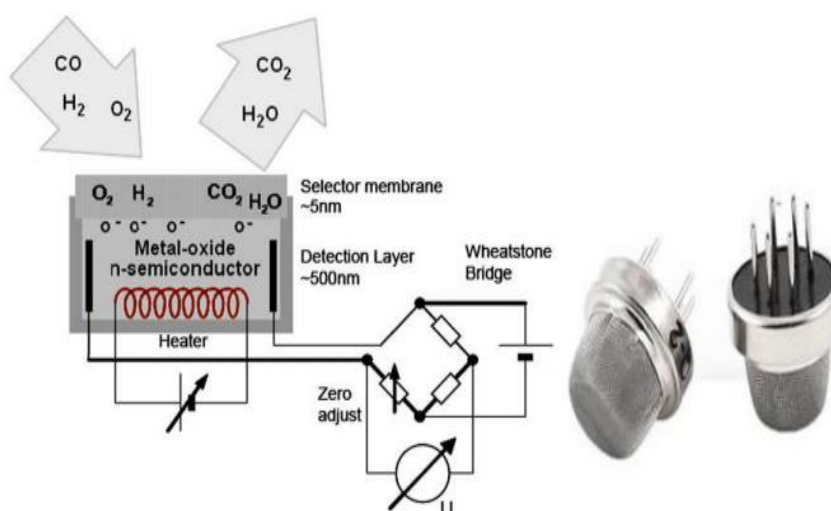
Dilakukan penggantian nilai bobot dan bias untuk setiap *neuron* pada lapisan tersembunyi ditunjukkan pada **Persamaan (2.20)**.

$$w_{ij(\text{baru})} = v_{ij(\text{lama})} + \Delta v_{ij} \quad (2.20)$$

(Desiani&Arhami,2006).

2.2.4 Metal Oxide Semiconductor (MOS)

MOS atau disebut juga sensor oksida logam merupakan sensor gas yang paling banyak diaplikasikan karena sensitivitasnya yang dapat diatur ulang, efisiensi ruang, dan biaya rendah (Dennler *et al.*, 2022). MOS dapat mendeteksi konsentrasi berbagai jenis gas dengan mengukur perubahan resistansi oksida logam akibat adsorpsi gas. MOS memiliki struktur yang terdiri dari tiga lapisan yaitu, lapisan logam, lapisan insulator, dan lapisan semikonduktor. Struktur jenis sensor MOS ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 Skema prinsip kerja sensor MOS (Ardiansyah & Pressa, 2018).

Pada **Gambar 2.6** menunjukkan prinsip pengoperasian MOS didasarkan pada perubahan konduktansi oksida pada gas dan sebanding dengan perubahan konsentrasi gas. Ketika sensor dipanaskan sampai suhu tinggi tanpa adanya oksigen, elektron bebas dengan mudah mengalir melalui batas butir dari film MOS. Oksigen atmosfer berinteraksi dengan oksigen bermuatan dari permukaan MOS, dimana elektron perangkap di sebagian besar materi. Hal ini menghambat aliran elektron dan dengan demikian meningkatkan resistansi sensor (Khasanah *et al.*, 2017). MOS memiliki resistor pemanas yang berfungsi untuk memanaskan sensor dan resistor yang terbuat dari lapisan metal-oksida yang ditempatkan pada pemanas. Perubahan hambatan listrik dari lapisan logam-oksida tergantung pada suhu dan kandungan hidrogen di udara sekitarnya (Ardiansyah & Pressa, 2018).

Ketika sensor diuji pada ruang atmosfer yang berisi gas reduksi, permukaan MOS mengabsorpsi molekul gas dan menurunkan penghalang potensial, yang memungkinkan elektron mengalir dengan mudah sehingga dapat mengurangi hambatan listrik. Dengan cara ini, sensor bertindak sebagai resistor variabel yang nilainya merupakan fungsi dari konsentrasi gas.

Pada prinsipnya terdapat empat parameter fungsi dalam pengukuran gas semikonduktor menggunakan sebuah sensor yaitu *performance*, *lifetime*, *reliability*, dan *cost*. Pada saat ini terdapat beberapa teknologi sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas metana, karbon monoksida, dan hidrogen sekaligus mengukur kadar konsentrasinya, salah satunya adalah sensor berbasis MOS. Hasil pengujian sensor berbasis MOS terhadap *output* tegangan dan resistor telah dilakukan sebelumnya dan didapatkan bahwa terdapat perubahan nilai tegangan *output* sensor dan nilai resistansi pada setiap variasi tekanan gas hidrogen yang diberikan terhadap sensor (Hasibuan *et al.*, 2017).

MOS telah banyak digunakan pada sistem deteksi gas *portable* karena kelebihan nya seperti biaya rendah, produksi mudah, dan pengukuran sederhana. Namun, kinerja sensor tersebut sangat dipengaruhi oleh morfologi dan struktur material penginderaannya. Sensor gas berbahan nanomaterials ini dikembangkan untuk memperbaiki sifat penginderaan gas dalam sensitivitas, selektivitas dan kecepatan respons (Aries *et al.*, 2021).

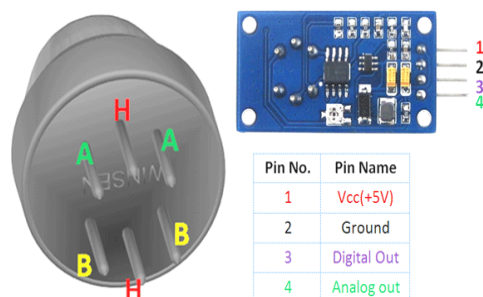
2.2.5 Sensor yang Digunakan

Sebelum sensor digunakan untuk melakukan pendeteksian terhadap gas sampel, sensor akan dikarakterisasi terlebih dahulu agar sensor dapat membaca sesuai dengan data set ataupun alat ukur yang sebenarnya.

2.2.5.1 Sensor MQ-2

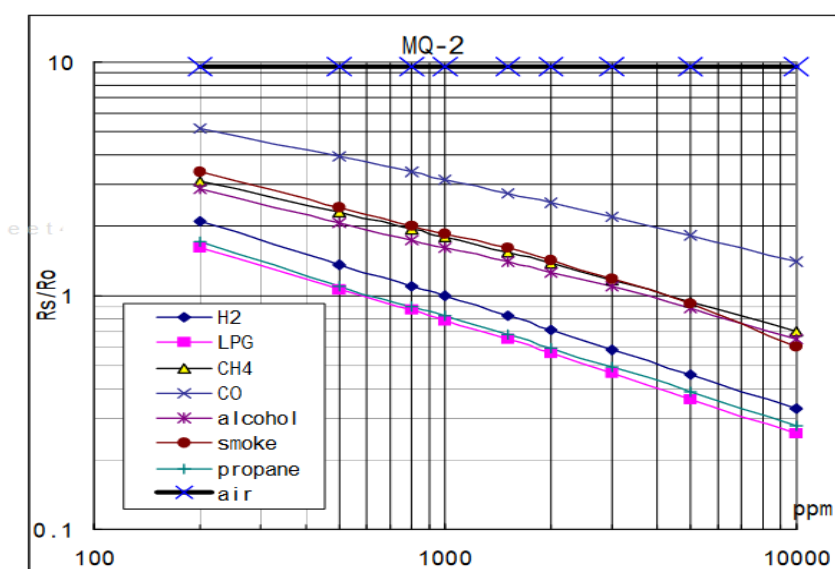
Sensor MQ 2 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi kadar gas hidrokarbon seperti isobutana (C_4H_{10}), propana (C_3H_8), metana (CH_4), etanol (C_2H_5OH), hidrogen (H_2), dan *Liquified Petroleum Gas* (LPG). Sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas dalam lingkungan rumah atau pabrik, mendeteksi kadar gas hidrokarbon zat di udara dengan cara menghubungkan sensor ini ke mikrokontroler seperti NodeMCU ESP 32. Karakteristik kepekaan sensor MQ-2 terhadap gas yang diukur dipengaruhi oleh tempat, keadaan sekitar

yang dilakukuan kepekaan sensor dapat dilihat pada *data sheet* yang tersedia sehingga dapat langsung digunakan. Berikut model sensor gas MQ-2, MQ-4, dan MQ-9 ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Modul sensor MQ-2, MQ-4, dan MQ-9

Pada **Gambar 2.7** menunjukkan informasi terkait *datasheet* dan pin masukan serta pin keluaran yang digunakan pada MQ-2, MQ-4, MQ-9. Sensor Gas MQ-2, MQ-4, dan MQ-9 dibuat dengan 6 pin, 4 dari mereka yang digunakan untuk mengambil sinyal, dan 2 lainnya digunakan untuk menyediakan arus pemanasan. Pin 1 merupakan *heater internal* yang terhubung dengan *ground*, pin 2 merupakan tegangan sumber *Vcc*, pin 3 digunakan untuk tegangan pada pemanas (*heater internal*), pin 4 merupakan *output* yang akan menghasilkan tegangan analog. Pin masukan bekerja untuk mendeteksi kadar udara sekitar kemudian pin keluaran akan menerima data tersebut. Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.8** sebagai berikut.



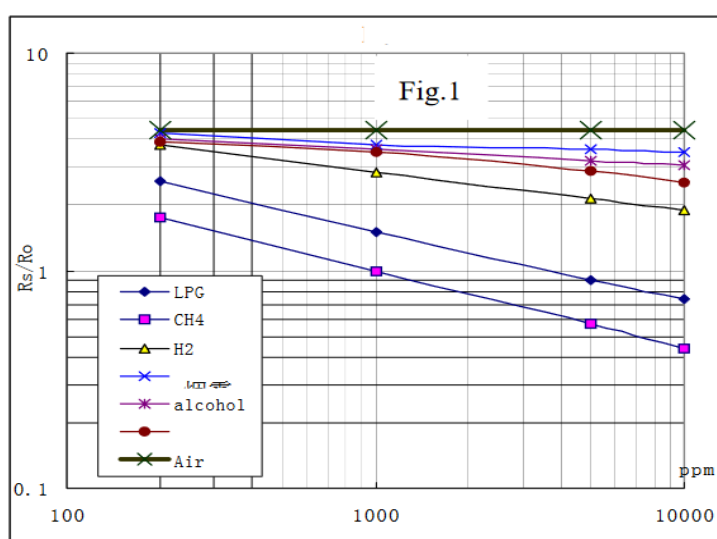
Gambar 2.8 Grafik sensitivitas MQ-2 (Datasheet, 2017).

Pada **Gambar 2.8** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-2 untuk beberapa gas. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk mendapatkan nilai ppm yang sebenarnya. Nilai yang didapatkan dari setiap poin-poin gas memerlukan analisis sehingga bisa mendapatkan nilai poin yang akurat seperti nilai R_s , R_0 , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik (Datasheet, 2017).

2.2.5.2 Spesifikasi sensor MQ-4

Sensor MQ 4 merupakan sensor gas yang digunakan dalam peralatan untuk mendeteksi gas metana dalam kehidupan sehari-hari, industri, atau kendaraan. Sensor ini menggunakan *catu daya heater*. Modul sensor gas MQ -4 ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

Sensor Gas MQ-4 dibuat dengan 6 pin, 4 dari mereka yang digunakan untuk mengambil sinyal, dan 2 lainnya digunakan untuk menyediakan arus pemanasan. .Pin 1 merupakan *heater internal* yang terhubung dengan *ground*, pin 2 merupakan tegangan sumber V_{cc} , pin 3 digunakan untuk tegangan pada pemanas (*heater internal*), pin 4 merupakan *output* yang akan menghasilkan tegangan analog . Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2. 9 Grafik sensitivitas MQ-4 (Datasheet, 2017).

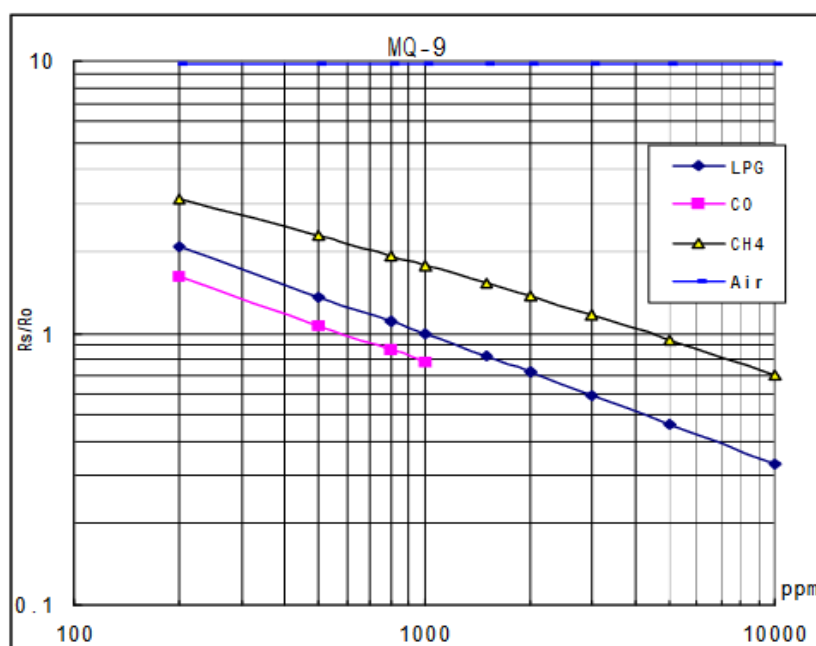
Pada **Gambar 2.9** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-4 untuk beberapa gas. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta

untuk mendapatkan nilai ppm yang sebenarnya. Nilai yang didapatkan dari setiap poin-poin gas memerlukan analisis sehingga bisa mendapatkan nilai poin yang akurat seperti nilai R_S , R_0 , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik (Datasheet, 2017).

2.2.5.3 Sensor MQ -9

Sensor MQ-9 merupakan sensor gas yang bekerja pada tegangan 5 V AC maupun DC. Sensor ini dapat mendeteksi kebocoran tabung gas dan paling sensitif dengan gas mudah terbakar (Nugraha, 2018). Sensor MQ-9 ini dapat mendeteksi beberapa gas, yakni metana, LPG, CO dan gas mudah terbakar (Fauzi *et al.*, 2021). Modul sensor gas MQ -9 ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.

Sensor Gas MQ-9 dibuat dengan 6 pin, 4 dari mereka yang digunakan untuk mengambil sinyal, dan 2 lainnya digunakan untuk menyediakan arus pemanasan. Pin 1 merupakan *heater internal* yang terhubung dengan *ground*, pin 2 merupakan tegangan sumber *Vcc*, pin 3 digunakan untuk tegangan pada pemanas (*heater internal*) pin 4 merupakan *output* yang akan menghasilkan tegangan analog. Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.10** sebagai berikut.

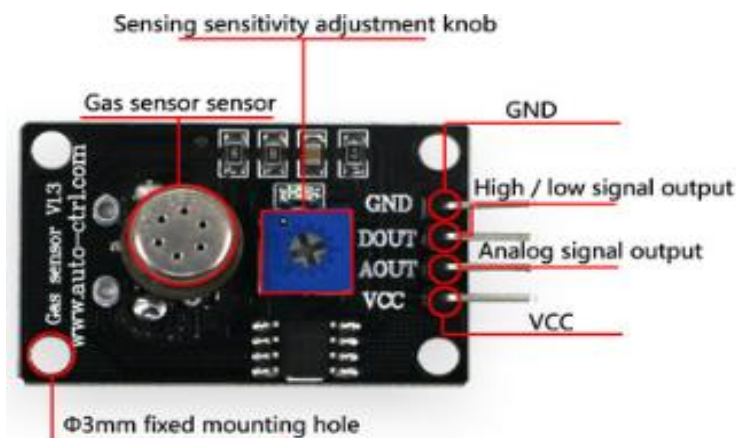


Gambar 2. 10 Modul sensor MQ-9 (Wahyuni *et al.*, 2020).

Pada **Gambar 2.10** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-4 untuk beberapa gas. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk mendapatkan nilai ppm yang sebenarnya. Nilai yang didapatkan dari setiap poin-poin gas memerlukan analisis sehingga bisa mendapatkan nilai poin yang akurat seperti nilai R_s , R_0 , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik (Datasheet, 2017).

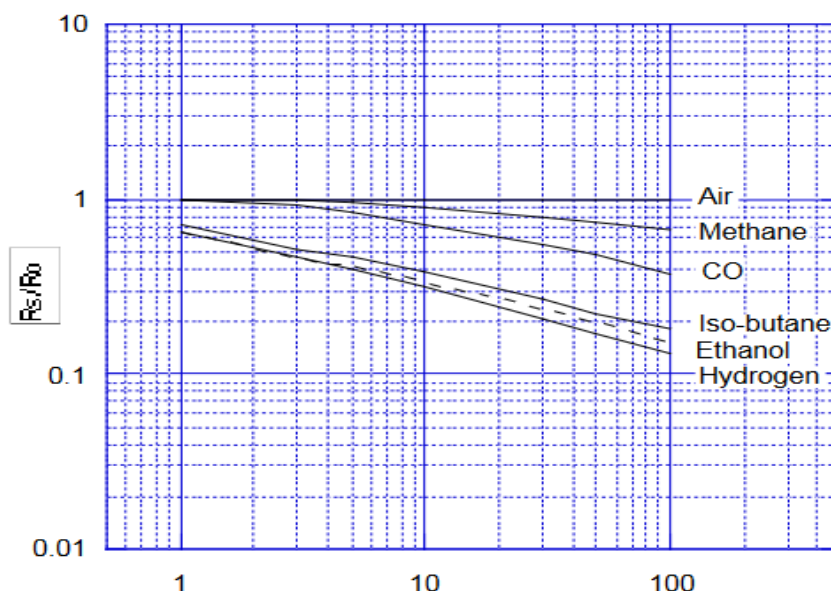
2.2.5.4 Sensor TGS 2600

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). Model struktur dari sensor gas TGS 2600 dapat dilihat ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2. 11 Model Sensor Gas TGS-2600 (Wijayanti, 2022).

Sensor TGS 2600 dibuat dengan 4 pin, pin G (kutub negatif) yang terhubung dengan *ground*, pin V terhubung ke tegangan sumber V_{cc} , pin AO merupakan *output* yang akan menghasilkan tegangan analog, dan Pin DO merupakan *output* yang akan menghasilkan tegangan digital. Adapun *datasheet* kepekaan sensor TGS-2600 terhadap gas yang dideteksi dilihat pada **Gambar 2.12** sebagai berikut.

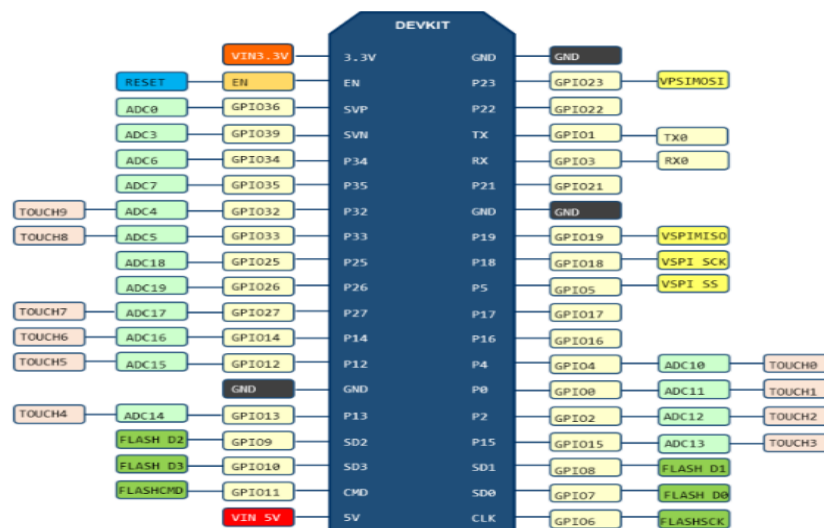


Gambar 2.12 Grafik sensitivitas sensor TGS 2600 (Budhana *et al.*, 2017).

Pada **Gambar 2.12** 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, mulai dari menentukan nilai R_S , R_0 , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik (Datasheet, 2017).

2.2.6 NodeMCU ESP 32

NodeMCU ESP 32 salah satu *open source* mikrokontroler yang diperkenalkan oleh *Expressive 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 C dan C++ untuk membantu dalam *sketch* dengan Arduino IDE. Pengembangan kit didasarkan pada modul ESP 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 mikroprosesor semua dalam satu *board* (Indrawan *et al.*, 2020). Diagram pin pada NodeMCU ESP32 ditunjukkan pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2. 13 Pin out NodeMCU ESP32 (Indrawan *et al.*, 2020).

Gambar 2. 13 menjelaskan pin out ESP32 memiliki 38 pin GPIO, dimana fungsi yang berbeda dapat ditetapkan dengan mengkonfigurasi *registry* yang relevan GPIO pada NodeMCU ESP32. Pada NodeMCU ESP 32 pin yang digunakan dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi tersebut, fungsi-fungsi pin tersebut, yaitu *Serial Peripheral Interface* (SPI) merupakan standar komunikasi sinkron dari data serial yang memungkinkan untuk penggunaan perangkat lebih karena pendistribusian data dan penyimpanan data dapat dilakukan secara langsung dan bersamaan, *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) merupakan perangkat yang ada di mikrokontroler digunakan sebagai komunikasi data serial, dan *Inter-Integrated Circuit* (I2C) merupakan protokol *interface* yang memiliki konsep dasar komunikasi dua arah menggunakan dua kabel (Indrawan *et al.*, 2020).

2.2.7 *Principal Component Analysis* (PCA)

PCA adalah teknik statistik yang diaplikasikan dalam satu kumpulan variabel untuk menemukan variabel mana dalam satu kumpulan tersebut yang saling berhubungan. PCA pada dasarnya digunakan untuk menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara mereduksi dimensinya (Mayapada *et al.*, 2019).

Keunggulan PCA di antaranya adalah dapat menghilangkan korelasi secara bersih tanpa mengurangi jumlah variabel asal (Xu *et al.*, 2019). PCA melakukan pemetaan atau transformasi set dari dimensi lama ke dimensi baru yang relatif berdimensi

yang relatif berdimensi lebih rendah dengan memanfaatkan teknik dalam aljabar linear, tanpa memerlukan parameter tertentu dalam memberikan keluaran pemetaannya. PCA memerlukan masukan data yang mempunyai sifat *zero-mean* pada setiap fiturnya. Sifat *Zero-mean* pada setiap fitur data bisa didapatkan dengan mengurangkan semua nilai dengan rata-ratanya. Set data X dengan dimensi $M \times N$, dimana M adalah jumlah data dan N adalah jumlah fitur yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.21)**.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \sigma_{M3} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Untuk fitur ke- j semua nilai pada kolom, tersebut dikurangi dengan rata-ratanya, diformulasikan dengan **Persamaan (2.22)**.

$$X_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_j \quad (2.22)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan matriks kovarian dari matriks X , yaitu C_x . Formulanya yang digunakan adalah *dot-production* pada setiap fitur ditunjukkan pada **Persamaan (2.23)**.

$$C_x = \frac{1}{M} X^T \cdot X \quad (2.23)$$

N adalah jumlah fitur, sedangkan X^T adalah matriks transpos dari X ditunjukkan pada **Persamaan (2.24)**.

$$C_x = \frac{1}{M} \times \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \sigma_{M3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{M1} & \sigma_{M2} & \sigma_{M3} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

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 antara semua pasangan yang mungkin dari fitur dataset 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 (Firmawati & Triyana, 2016).

Tujuan PCA dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Memaksimalkan nilai keluaran pemetaan yang diukur dengan varian. Jika Y adalah matriks set data hasil.
2. Meminimalkan redundansi yang diukur oleh nilai jarak dan kovarian dari Y (Jumianto *et al.*, 2020).

Cara yang umum digunakan untuk mendapatkan C_y adalah dengan *eigenvalue* dan *eigenvector*. *Eigenvalue* dan *eigenvector* dari matriks X berturut-turut adalah nilai skala λ dan vektor u yang ditunjukkan pada **Persamaan (2.25)**.

$$Xu = \lambda u \quad (2.25)$$

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 dituliskan pada **Persamaan (2.26)**.

$$C_y = P \left(\frac{1}{M} XX^T \right) P^T \quad (2.26)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan 2.34, kita mendapatkan matriks C_y berdimensi $N \times N$ ditunjukkan pada **Persamaan (2.27)**.

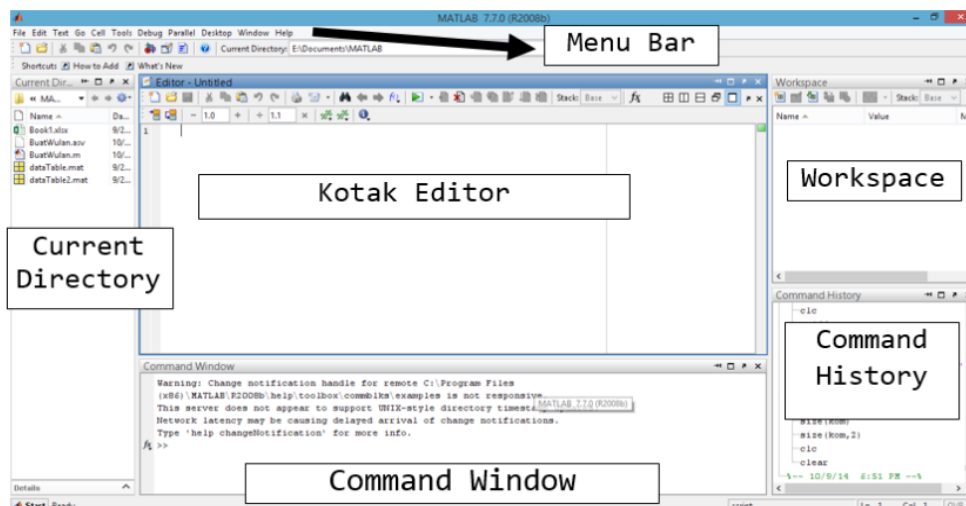
$$C_y = PC_xP^T \quad (2.27)$$

(Prasetyo, 2012).

2.2.8 Software Matrix Laboratory (Matlab)

Matlab adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks (Cahyono, 2016).

Software Matlab dapat menyelesaikan berbagai permasalahan komputasi numerik. Solusi dari permasalahan yang berhubungan dengan vektor dan matriks dapat diselesaikan dengan mudah dan sederhana menggunakan *software* ini. Bahkan, *software* ini dapat memecahkan inversi matriks dan Persamaan linier dengan cepat dan mudah sekali. Tampilan *window* dari aplikasi *software* matlab ditunjukkan **Gambar 2.14**.



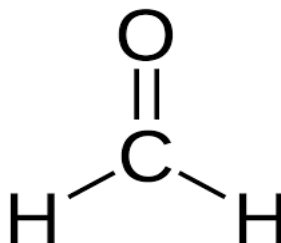
Gambar 2. 14 Window matlab (Astuti & Alhidayatuddiniyah, 2020).

Pada **Gambar 2.14** menunjukkan bagian pada *interface* matlab, yaitu *current directory* digunakan untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab, editor digunakan untuk membuat *M-file* yang akan digunakan untuk membuat program yang dijalankan oleh matlab, *command window* digunakan untuk menjalankan baris-baris program yang ditulis secara langsung di jendela atau melalui editor dan memanggil *tool* matlab seperti editor, *debugger* atau fungsi, *workspace* berisi variabel-variabel yang telah dideklarasikan yang digunakan untuk mengetahui ukuran matriks variabel, nilai minimum, nilai maksimum variabel yang telah dibuat, dan *command window* berisikan kode program yang berisikan kode program yang telah dijalankan *error* atau tidak (Irawan, 2012). Selama proses pengembangan, Matlab mampu mengintegrasikan beberapa perangkat lunak matriks sebelumnya ke dalam satu perangkat lunak untuk perhitungan matriks (Kustian, 2016).

Penerapan matlab pada fisika komputasi, khususnya topik persamaan diferensial dan matriks pada saat ini diperlukan untuk membantu dalam penyelesaian beberapa kasus rumit dalam fisika matematika lanjut. Penerapan persamaan diferensial biasanya digunakan pada ilmu matematika, ilmu fisika, teknik dan berbagai ilmu lain untuk menjelaskan suatu fenomena pada sebuah sistem, sehingga suatu bentuk simulasi dan prediksi dari sebuah persamaan matematik yang ditunjukkan pada (Febrianti & Harahap, 2021).

2.2.9 Formalin

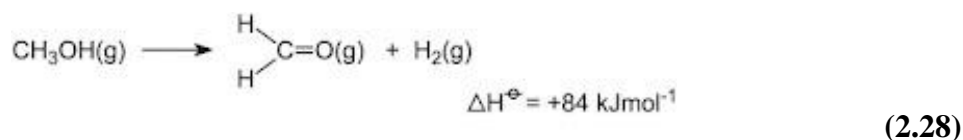
Formalin atau formaldehid adalah cairan jernih yang tidak berwarna dan baunya sangat menusuk, di dalam formalin terkandung sekitar 37% CH₂O dalam air. Struktur kimia dari Formaldehida ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.



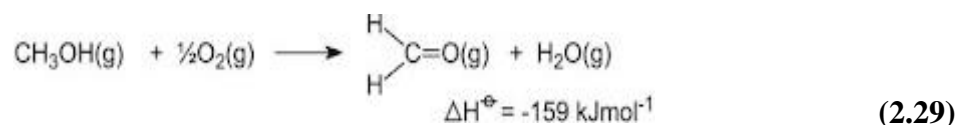
Gambar 2. 15 Struktur Formaldehida (Mundriyastutik *et al.*, 2020).

Formaldehida merupakan bentuk aldehyd yang paling sederhana. Formaldehida bersifat mudah terbakar, berbau tajam, tidak berwarna, dan mudah dipolimerisasi pada suhu ruang. Formaldehida bersifat larut di dalam air, benzene, dietil eter, kloroform, dan etanol. Pada Suhu 150 °C , formaldehida mudah terdekomposisi menjadi karbon monoksida (CO) dan metanol (CH₃OH). Formaldehida mudah dioksidasi oleh oksigen di atmosfer membentuk asam format, yang kemudian diubah menjadi karbon monoksida oleh sinar matahari (Adisasmita *et al.*, 2019).

Pembentukan formalin terjadi ketika metanol mengalami reaksi oksidasi menjadi formaldehid di dalam reaktor yang berlangsung pada temperatur (250-400) °C dengan tekanan ±1,3 atm. Sebagian besar formaldehida dihasilkan dari metanol dengan proses yang melibatkan dua reaksi, yaitu dehidrogenasi dan oksidasi. Adapun reaksi yang dehidrogenasi ditunjukkan pada **Persamaan (2.28)**.



dan reaksi oksidasi ditunjukkan pada **Persamaan (2.29)**.



Karakteristik Fisika dan kimia formalin ditunjukkan pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2. 1 Karakteristik fisika dan kimia formalin

Nama	Karakteristik
Rumus Kimia	H ₂ CO
Berat Molekul	30, 03
Titik Leleh	-118 sampai -9 °C
Titik Didih	-21 sampai -19 °C
<i>Triple Point</i>	155, 1 K (-188, 0°)
Densitas uap	1,067 kg/ m ³
Tekanan Uap (Pa, 25°C)	516000
Faktor Konversi	1, 2 mg/m ³

Formaldehida di pasaran sering dikenal dengan banyak nama yaitu *formol, mobicid, methanol, formic aldehyde, methyl oxide, oxymethylene, methyl aldehyde, oxmethane formoform, formalith, oxomethne, kasran, methylene, glycols, paraforin*. Formalin adalah larutan yang tidak berwarna dan baunya sangat menusuk. Di dalam larutan formalin terkandung 30-50% gas formaldehid dan ditambahkan metanol sebanyak 10-15% untuk mencegah terjadinya polimerisasi formaldehid (Oheo *et al.*, 2020).

Batas toleransi formaldehida yang dapat diterima tubuh manusia dengan aman adalah dalam bentuk air minum, menurut *International Programme on Chemical Safety* (IPCS) adalah 0,1 mg/liter atau dalam satu hari asupan yang dibolehkan adalah 0,2 mg. Sementara formalin yang boleh masuk tubuh dalam bentuk makanan untuk orang dewasa adalah 1,5 mg hingga 14 mg/hari. Berdasarkan standar Eropa, kandungan formalin yang masuk dalam tubuh tidak boleh melebihi 660 ppm dengan 1000 ppm setara 1 mg/liter (Fatimah *et al.*, 2017). Formalin merupakan salah satu zat aditif buatan yang berbahaya. Formalin dapat menunjukkan efek samping secara langsung jika terhirup, terpapar pada kulit, atau tidak sengaja tertelan (Tatuh dkk., 2010).

Kandungan formalin yang tinggi di dalam tubuh akan menyebabkan iritasi lambung, alergi, karena bersifat mutagen sehingga orang yang mengkonsumsinya akan mengalami muntah, diare, dan kencing bercampur darah dan apabila terhirup akan merangsang terjadinya iritasi pada hidung, tenggorokan, dan mata. Selain itu, formalin pada konsentrasi rendah sekalipun (4%) dapat mengeraskan jaringan.

Sedangkan pada konsentrasi tinggi (40%) dapat mengeraskan jaringan dan mengendapkan protein sehingga protein tidak dapat dicerna (Haniyah, 2019).

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 alat, kalibrasi sensor, pemrograman JST, perangkaian alat, pelatihan JST, pengambilan 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.	Kalibrasi sensor		■			
3.	Perangkaian alat		■	■		
4.	Pelatihan JST			■	■	
5.	Pengambilan data				■	
6.	Analisis hasil					■

Tahap pembuatan alat dan pengambilan data dilaksanakan di Ruang Workshop Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

3.2.1 Alat- Alat Penelitian

Aat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu multimeter DT9205A untuk mengukur tegangan, arus serta hambatan pada rangkaian, PC AMD *Dual Core* A4 yang di dalamnya terdapat *Software* Matlab 2013a digunakan untuk komputasi yang di dalamnya terdapat *Software* Matlab 2013a digunakan untuk komputasi data

mengolah dan menganalisis karakteristik kandungan gas dari formalin dan merancang JST untuk mengidentifikasi kandungan formalin, *Eagle Autodesk* versi 9.6.2 untuk membuat skema rangkaian *e-nose*, *AutoCad 2019* digunakan untuk membuat desain 3 dimensi *e-nose*. Solder digunakan untuk memasang komponen pada rangkaian.

3.2.2 Bahan- Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

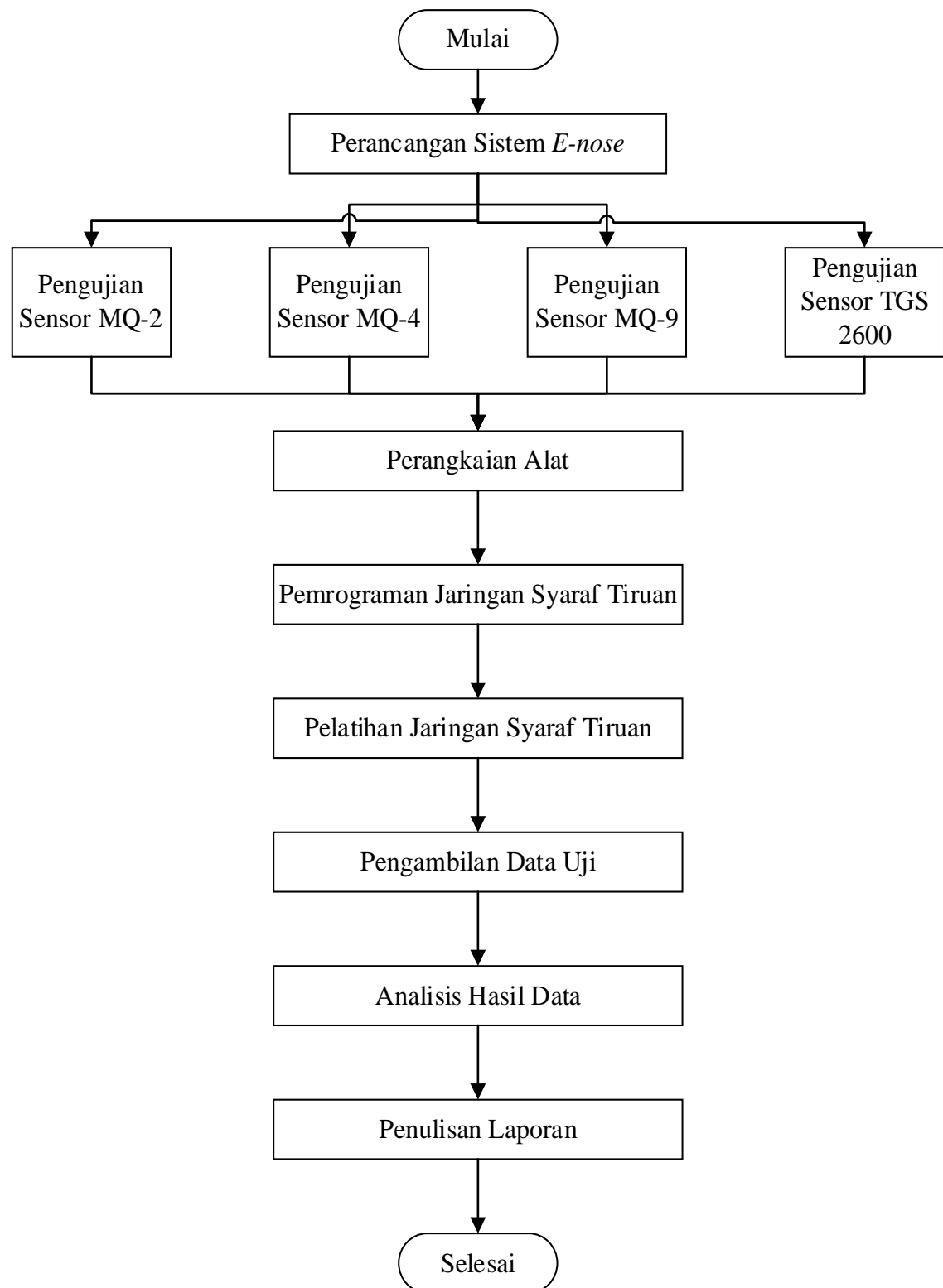
Tabel 3. 2 Bahan-bahan penelitian

No	Nama	Gas yang dideteksi
1.	NodeMCU ESP32	Sebagai sistem kontrol masukan keluaran (I/O) untuk pembacaan data sensor dan mengatur proses pengiriman data
2.	<i>Power Supply</i> 12 V/5A	Sebagai sumber tegangan pada sistem
3.	Sensor MQ-2	Mendeteksi gas karbon monoksida dan metana
4.	Sensor MQ-4	Mendeteksi gas karbon monoksida
5.	Sensor MQ-9	Mendeteksi gas metana
6.	SensorTGS 2600	Mendeteksi gas karbon monoksida dengan sensitivitas tinggi
7.	<i>Printed Circuit Board (PCB)</i>	mengkoneksikan komponen elektronik yang terdapat pada semua bahan sistem
8.	kabel <i>Insulation Displacement Connector (IDC)</i>	menghubungkan soket pada setiap <i>pin header</i>
9.	<i>Pin Header</i>	menghubungkan komponen elektronika dengan PCB pada <i>e-nose</i>
10.	<i>Liquid Crystal Display (LCD)</i> I2C 20X4	untuk menampilkan hasil analisis gas yang dimasukkan ke dalam <i>chamber</i>
11.	Pompa 12 V DC	untuk membuang gas yang ada di <i>chamber</i> setelah selesai melakukan analisis,
12.	<i>Chamber</i> 11 x 9 x 6,5	Tempat meletakkan sensor yang pada saat proses analisis
13.	Selang kecil 0.5 cm	mengalirkan gas keluar dari <i>chamber</i> saat proses analisis

3.3 Prosedur Penelitian

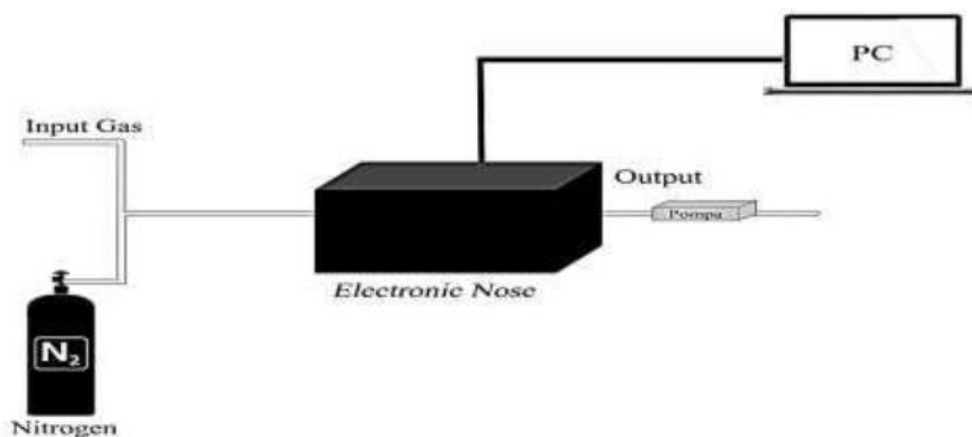
Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan antara lain perancangan dan pembuatan alat, pengujian dan kalibrasi sensor, pemrograman JST, pelatihan JST pengambilan data, dan analisis hasil kinerja JST. Secara keseluruhan, pembuatan rancang bangun

sistem *e-nose* menggunakan JST dengan menggunakan metode *backpropagation* dengan sampel kandungan formalin ditunjukkan dalam diagram alir pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram alir.

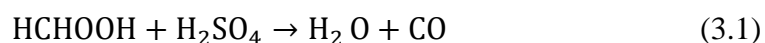
Tahap perancangan sistem *e-nose* dilakukan untuk merancang perangkat *hardware e-nose*. Sensor gas yang digunakan terdiri dari sensor MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8, MQ-135, TGS -2600, TGS 2611. Berikut ini merupakan skema rancangan *e-nose* yang akan digunakan untuk mendeteksi kandungan formalin pada produk makanan yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Skema rancangan *e-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*. Pada lubang *chamber* terdapat selang untuk mengeluarkan gas yang ada di dalam *chamber* yang untuk mengeluarkan gas dipasang pompa yang berfungsi menarik gas keluar dari *chamber* yang dikendalikan oleh NodeMCU ESP32. NodeMCU ESP32 diletakkan di luar *chamber* dan dihubungkan ke PC untuk mengolah keluaran sensor gas yang diterima.

Tahap pengujian dan karakterisasi dilakukan dengan memberikan gas metana dan karbon monoksida dengan berbagai variasi konsentrasi pada sensor gas yang digunakan satu per satu. Untuk memperoleh karbon monoksida dalam bentuk larutan yaitu dengan cara mencampurkan asam format dan asam sulfat dengan reaksi kimia yang ditunjukkan pada **Persamaan (3.1)**.



Untuk menentukan konsentrasi gas sampel, dilakukan perhitungan seperti pada **Persamaan (3.2)**.

$$ppm = \frac{m_s}{m_c} \cdot 10^6 \quad (3.2)$$

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 (3.3)**.

$$m = \rho \cdot V \quad (3.3)$$

dengan:

ρ = massa jenis gas (gram/ ℓ)

V = volume gas (ℓ)

Dengan menggunakan **Persamaan (3.2)** untuk menghitung massa gas sampel maka **Persamaan (3.3)** dapat dituliskan seperti ditunjukkan pada **Persamaan (3.4)**.

$$V_S = \frac{ppm \cdot m_c}{\rho_s \cdot 10^6} \quad (3.4)$$

Dimana V_S adalah volume yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai konsentrasi gas (Liter atau ℓ) dan ρ_s adalah massa jenis gas sampel (g/ℓ). Fadhlillah, (2019) menggunakan **Persamaan (3.3) dan (3.4)** untuk menghitung beberapa banyak larutan etanol dan aseton yang dibutuhkan dalam pengujian sensor ditunjukkan pada **Persamaan (3.5)**.

$$\rho_{liquid} \cdot V_{liquid} = V_{gas} \cdot \rho_{gas} \quad (3.5).$$

Dengan ρ merupakan massa jenis suatu gas dalam g/Liter dan ρ merupakan massa jenis dalam g/ℓ dan dianggap dalam keadaan *Room Temperature and Pressure* (RTP) dimana kondisi ruang memiliki suhu 25°C, tekanan 1 atm, dan volume untuk 1 mol gasnya yaitu 24 Liter. Gas yang telah terukur tersebut diberikan ke *chamber* untuk mengetahui respon dari setiap sensor. Pengujian sensor menggunakan gas sampel ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Data pengujian gas sampel

No	Konsentrasi (ppm)	Uji ke	Sensor (mV)			
			MQ 2	MQ-8	TGS 2600	TGS 2611
1	50	1				
		2				
		...				
		5				
2	100	1				
		2				
		...				
		5				
3	150	1				
		2				
					
		5				
4	200	1				
		2				
		...				
		5				

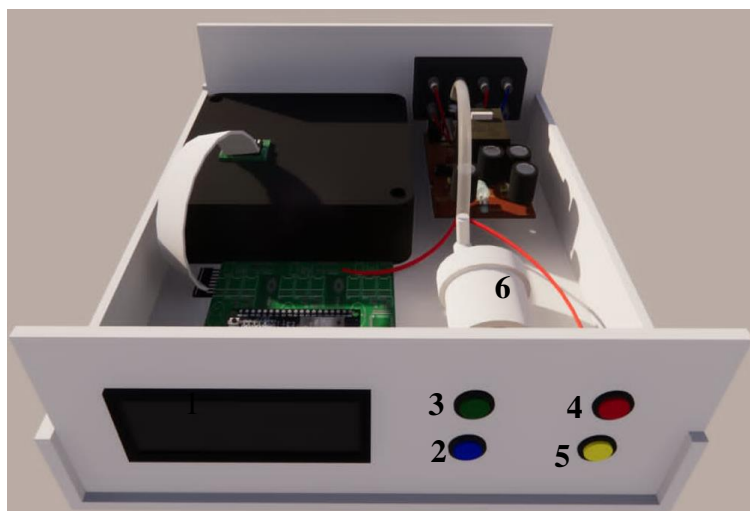
Tahap pemrograman dilakukan dengan membuat JST dengan menggunakan *software* Matlab 2013a. JST ini yang akan digunakan untuk kadar konsentrasi formalin dengan variasi konsentrasi (50, 100, 150, 200) ppm.

Tahap pelatihan JST akan dilakukan dengan memberikan gas yang dihasilkan dari kandungan formalin dari berbagai konsentrasi. Sehingga JST akan dilatih untuk mengenali perbedaan keduanya.

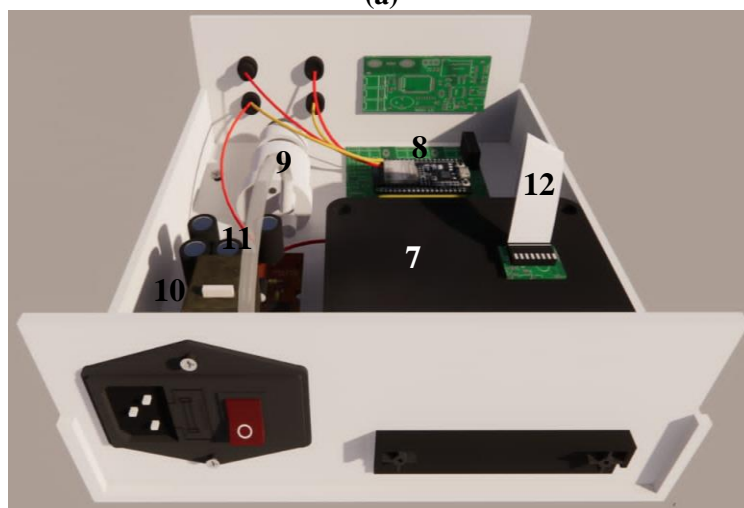
Tahap pengambilan data profil gas yang ada pada formalin akan dilakukan dengan mengambil gas yang dihasilkan dari larutan formalin dari berbagai variasi konsentrasi Data yang diperoleh akan dianalisis dan dibahas menggunakan metode *backpropagation*.

3.3.1 Perancangan Alat

Pada penelitian ini dirancang sebuah *e-nose* yang terdiri 9 sensor gas tipe MOS, NodeMCU ESP32, dan komputer. Desain untuk sistem *e-nose* 3 dimensi menggunakan *software Autocad 2019* ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



(a)



(b)

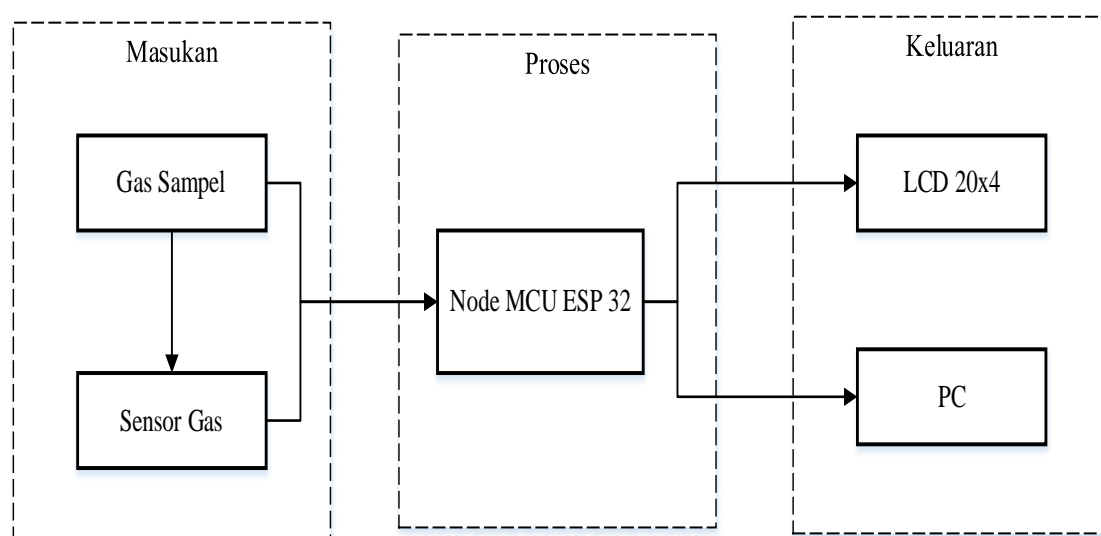
Gambar 3. 3 Desain *e-nose* 3 dimensi (a) bagian depan dan (b) belakang.

Keterangan:

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. LCD I2C | 7. Chamber |
| 2. Tombol <i>Reset</i> | 8. NodeMCU ESP32 |
| 3. Tombol <i>Start</i> | 9. Pipa L |
| 4. Tombol <i>Stop</i> | 10. <i>Power Supply</i> 12/5 V |
| 5. Tombol ON/OFF | 11. Selang |
| 6. Pompa | 12. Kabel IDC 16C |

Fungsi dari *port serial* adalah sebagai *port* untuk melakukan pengiriman data hasil deteksi sensor menggunakan komunikasi serial NodeMCU ESP32 dengan PC. Data hasil deteksi sensor tersebut akan dianalisis menggunakan JST. Disediakan pada 4 tombol untuk mengoperasikan *e-nose*, tombol *restart* untuk mengatur 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 formalin pada produk makanan yang diperlihatkan pada **Gambar 3.4**.

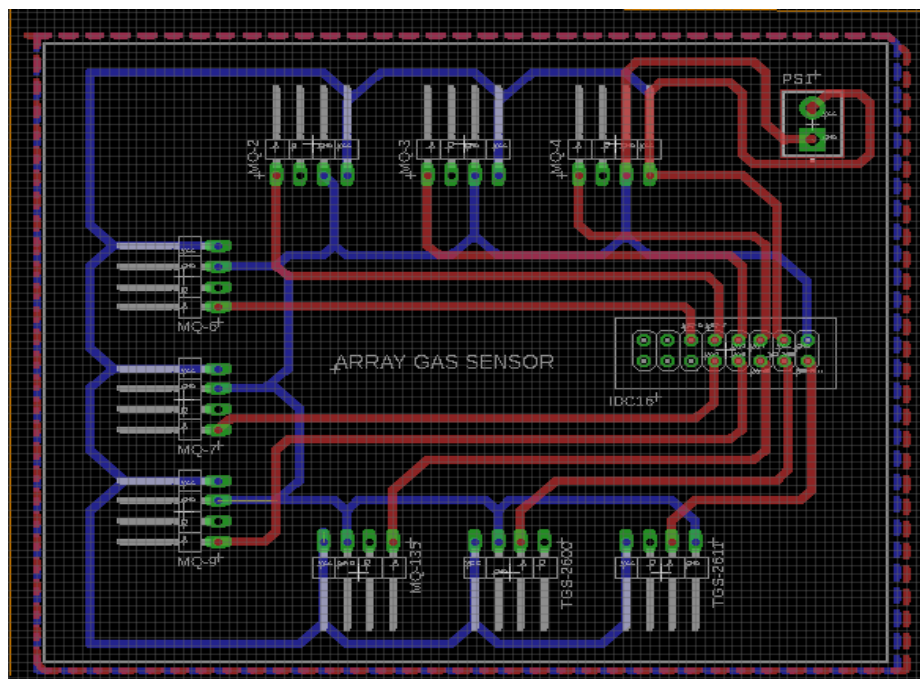


Gambar 3. 4 Diagram blok sistem *e-nose*.

Gas masukkan berupa gas yang dihasilkan dari aroma larutan formalin yang akan dideteksi oleh sensor gas. Sensor gas yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah MQ-2, MQ-4, MQ-9, dan TGS -2600 . Perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sensor diterima oleh NodeMCU ESP 32 dan diubah menjadi data berbentuk *array*. *Array* data yang diterima oleh arduino dikirim ke PC untuk dianalisis menggunakan JST pada *software* Matlab 2013a. NodeMCU ESP32 berfungsi mengendalikan pompa yang akan membuang gas masukkan setelah proses analisis selesai. Setelah proses analisis selesai, alat akan menampilkan hasil nilai ADC untuk masing-masing sensor pada LCD.

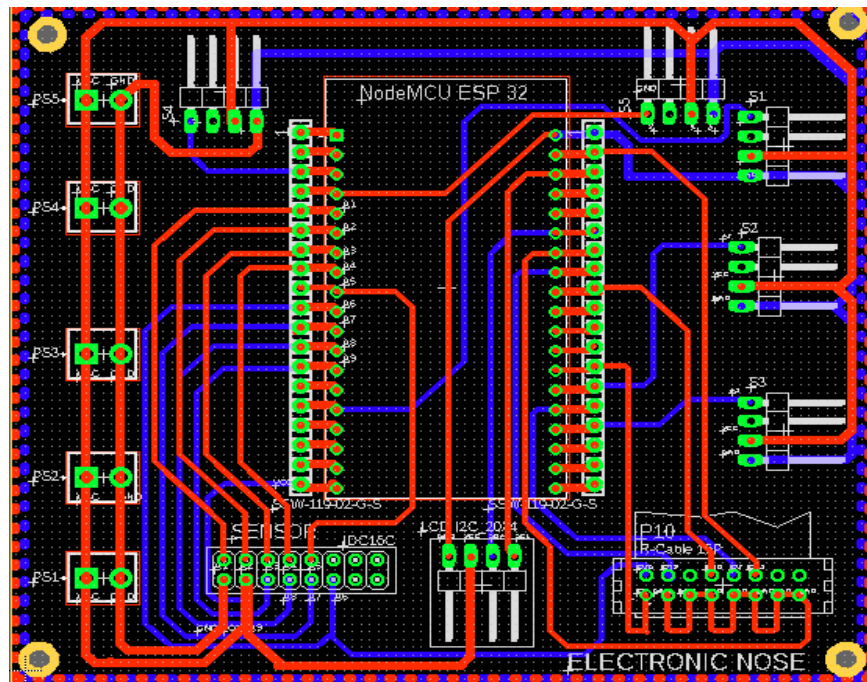
3.3.2 Sensor Gas Array

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 digunakan untuk mendeteksi gas metana dan karbon monoksida dalam proses kalibrasi. Rangkaian keseluruhan gas *array* yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Rangkaian keseluruhan sensor gas *array e-nose*.

Pin *out* masing-masing sensor dihubungkan ke pin analog NodeMCU ESP32. Kemudian pin *Vcc* sensor dihubungkan dengan tegangan 5 Volt. Sensor gas yang digunakan pada penelitian ini adalah MQ-2, MQ-9, TGS 2600, dan MQ-4 yang akan digunakan untuk mendeteksi gas metana dan karbon monoksida. 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**.



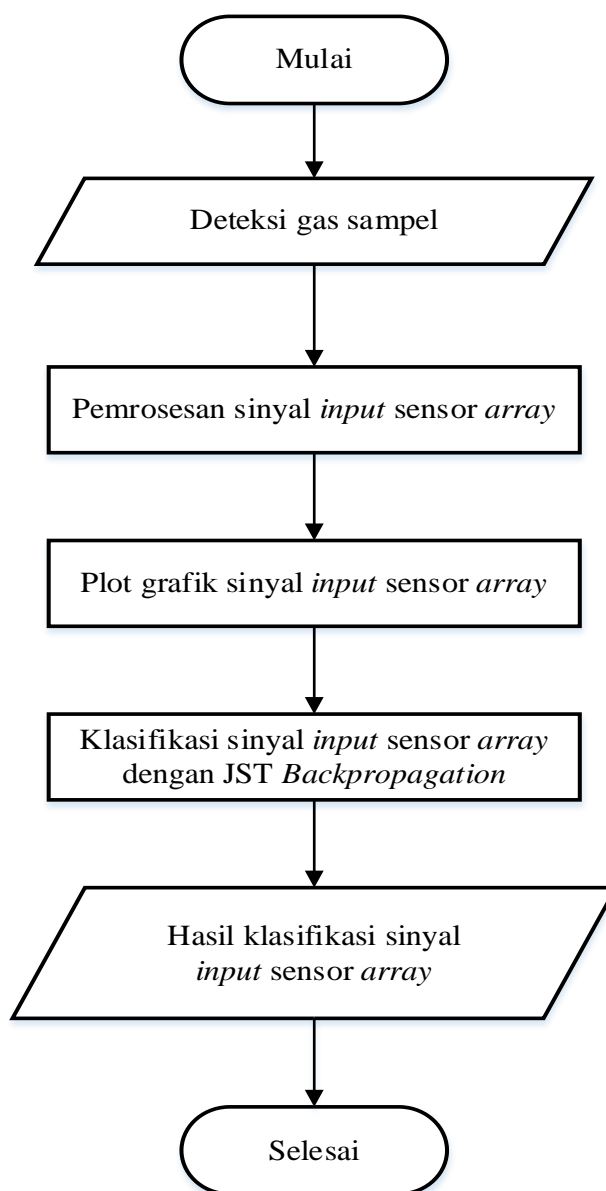
Gambar 3. 6 Rangkaian PCB sensor gas *array* penelitian.

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-4 memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas metana (Fadhillah, 2019).

3.3.3 Perancangan JST

Pada penelitian ini digunakan Matlab R2013a dengan metode *backpropagation* untuk membuat JST yang akan digunakan untuk mengidentifikasi aroma gas yang dihasilkan formalin yaitu karbon monoksida dan metana. Metode ini terdiri dari dua

tahap, yaitu *feedforward* dan tahap *back propagation error* yang disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.

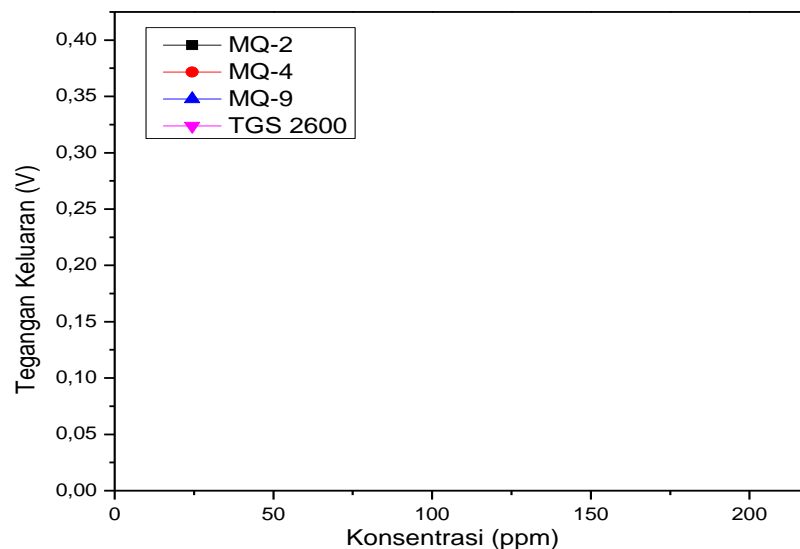


Gambar 3.7 Diagram alir perancangan JST.

Gambar 3.7 menunjukkan proses perancangan JST pada penelitian yang dimulai dengan tahap pendeteksian gas sampel. Tahap pendeteksian gas sampel merupakan tahap pendeteksian oleh *array* sensor untuk mendeteksi gas metana dan karbon monoksida yang dimasukkan ke dalam *chamber*. Kemudian data hasil pengujian kandungan formalin tersebut dianalisis menggunakan *JST backpropagation*. Sinyal-sinyal yang didapatkan dalam sensor diproses kedalam NodeMCU ESP32 dan kirimkan ke PC menggunakan komunikasi serial.

Tahap pemrosesan sinyal masukan sensor *array* merupakan proses konversi sinyal-sinyal analog yang dikirim oleh sensor *array* ke NodeMCU ESP32 ke dalam 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 Graphical user interference (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 Backpropagation* merupakan proses pengklasifikasian sinyal sensor yang didapatkan. Proses ini juga dilakukan untuk melatih *JST* agar dapat mengenali kandungan formalin dengan konsentrasi (50, 100, 150, 200) ppm. *JST* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan empat *node input* pada lapisan masukan dan dua *node output* pada lapisan keluaran, hal ini sesuai dengan jumlah masukan dari sensor yang digunakan untuk membaca empat parameter. Pada lapisan tersembunyi, fungsiaktivasi yang digunakan pada model *JST* ini adalah *sigmoid*, sedangkan pada lapisan keluaran fungsi aktivasi yang digunakan adalah fungsi *Relu*. 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 $N_i=4$ dan $N_o = 4$, jumlah *neuron* pada lapisan tersembunyi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 4 Jumlah *node* pada lapisan tersembunyi

Model	Pendekatan	Jumlah <i>node</i> pada lapisan tersembunyi
JST -1	1	$N_h = N_i = 4$
JST -2	2	$N_h = N_o = 4$
JST-3	3	$N_h = n + N_o = 8$

Berdasarkan **Tabel 3.4** terdapat tiga model JST yang digunakan pada penelitian ini. Masing-masing model JST memiliki jumlah *node* pada lapisan tersembunyi yang berbeda. 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 tergolong gas yang yang dimiliki bahan berformalin dan tidak.

3.3.4 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 yang terkandung dalam larutan formalin dengan berbagai variasi konsentrasi. Berikut ini merupakan tabel data pengujian *e-nose* yang ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3. 5 Data latih sistem *e-nose*

No	Konsentrasi formalin (ppm)	Sampel Uji ke	Dikenali sebagai			
			50 ppm	100 ppm	150 ppm	200 ppm
1.	50	1				
		2				
					
		15				
2.	100	1				
		2				
		...				
		15				
3.	150	1				
		2				
					
		15				
4.	200	1				
		2				
					
		15				

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, spesifisitas, presisi, dan nilai prediksi negatif dari setiap model JST yang diperoleh dari hasil pelatihan. Hasil perhitungan data *binary confusion matrix* untuk sampel kandungan gas formalin pada konsentrasi ditunjukkan pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3. 6 Rancangan tabel *confusion matrix*

Sampel Sebenarnya	Sampel hasil identifikasi		
	50 ppm	Bukan 50 ppm	
50 ppm	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan 50 ppm	FP=	TN=	Spesifisitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi =
Sampel Sebenarnya	Sampel hasil identifikasi		
	100 ppm	Bukan 100 ppm	
100 ppm	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan 100 ppm	FP=	TN=	Spesifisitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi =
Sampel Sebenarnya	Sampel hasil identifikasi		
	150 ppm	Bukan 150 ppm	
150 ppm	TP=	FN=3	Sensitivitas=
Bukan 150 ppm	FP=	TN=42	Spesifisitas=
	Presisi=	Prediksi Negatif =	Akurasi =
Sampel Sebenarnya	Sampel hasil identifikasi		
	200 ppm	Bukan 200 ppm	
200 ppm	TP=	FN=	Sensitivitas=
Bukan 200 ppm	FP=	TN=	Spesifisitas=
	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 *e-nose* berbasis multi sensor menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *backpropagation* telah berhasil mengenali gas penyusun kandungan formalin, seperti metana dan karbon monoksida.
2. Rancang bangun sistem *e-nose* berbasis multi sensor menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *backpropagation* telah berhasil membedakan kandungan gas formalin dengan variasi konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm dengan *error* pelatihan JST sebesar 4,147%.

5.2 Saran

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

1. Memperbanyak sampel data latih untuk meningkatkan kinerja JST dalam membedakan sampel kandungan formalin di berbagai variasi konsentrasi.
2. Memberikan perlakuan yang sama untuk proses *penginputan* gas ke dalam *chamber* untuk setiap masing-masing sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Alqurni, R. P., & Nuswantoro, U. D. 2016. Pengenalan Tanda Tangan Digital Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) Perceptron dan Backpropagation. *Jurnal Teknik Informatika*, 15 (4), 352–363.
- Amrizal, V., & Aini, Q. 2013. *Kecerdasan Buatan*. Halaman Moeka. Jakarta.
- Ardiansyah, F., Misbah, & Pressa, P. 2018. Sistem Monitoring Debu dan Karbon Monoksida. *Jurnal Teknologi Fisika*, 2 (3), 62–71.
- Aries, B., Hendriyawan, M.S. 2021. Implementation of Artificial Neural Network on Smart Electronic Nose for Pork Meat Detection. *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*. 18 (3), 282–296.
- Astuti, S. P., & Alhidayatuddiniyah, T. W. 2020. Pemanfaatan Software Matlab untuk Meningkatkan Minat Belajar Mahasiswa dalam Pembelajaran Fisika Kinematika. *Jurnal Pendidikan Berkarakter*, 3 (2), 54–57.
- Astuti, W., Lenono, D., & Faizah, F. 2016. Identifikasi Tahu Berformalin dengan Electronic Nose Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 6 (2), 211.
- Aulia, R. (2018). Penerapan Metode Backpropagation Untuk Memprediksi Jumlah Kunjungan Wisatawan Berdasarkan Tingkat Hunian Hotel. *Jurnal Telekomunikasi*, 4 (2), 115–122.
- Baskara, S., Lelono, D., & Widodo, T. W. 2016. Pengembangan Hidung Elektronik untuk Klasifikasi Mutu Minyak Goreng dengan Metode Principal Component Analysis (PCA). *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)*, 6 (2), 221-230.
- Br Manurung, M., Darmawan, D., & Iskandar, R. F. 2020. Perancangan Alat Ukur Kadar Karbon Monoksida (CO) pada Kendaraan Berbasis Sensor MQ-7 Design. *Jurnal Teknik Fisika*, 5(2), 274–282.
- Budhana, I. M. A., Swamardika, I. B. A., & Divayana, Y. 2017. Rancang Bangun Robot 6WD Dengan Sensor Gas TGS-2600 Menggunakan Metode Wall Following Berbasis Arduino Mega 2560. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 7 (1), 51-69.

- Cahyono, B. 2016. Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 3 (1), 45–62.
- Choirul Umi Haniyah, N., M. Kusumaningtyas., B. E. C. Mar'ah. 2019. Uji Efektivitas Perasan Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*) Dan Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*) Untuk Mendeteksi Formalin Pada Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*). *Pharmaceutical Journal of Islamic Pharmacy*, 3(1), 23-31.
- Datasheet. 2017a. *Product Information Technical MQ-2 Gas Sensor*. Available at: <http://www.sparkfun.com/datasheet/Sensors/MQ-4.pdf>(Accessed:5March 2023).
- Datasheet. 2017b. *Product Information Technical MQ-4 Gas Sensor*. Available at: <http://www.sparkfun.com/datasheet/Sensors/MQ-4.pdf> (Accessed: 5 March 2023).
- Datasheet. 2017c. *Product Information Technical MQ-4 Gas Sensor*. Available at: <http://www.sparkfun.com/datasheet/Sensors/MQ-4.pdf> (Accessed: 5 March 2022).
- Datasheet. 2017d. *Product Information TGS2600-For The Detectiono of Air Contaminats*. Available at: http://www.figarosensor.com/product/docs/tgs2600_product_information_rev02.pdf (Accessed: 6 October 2022).
- Dennler, N., Rastogi, S., Fonollosa, J., & Schmuker, M. 2022. Sensors and Actuators B . Chemical Drift In A Popular Metal Oxide Sensor Dataset Reveals Limitations For Gas Classification Benchmarks. *Biosensor Journal*, 3 (1), 36-52.
- Fadhlillah, R. 2019. Rancang Bangun Sistem *Electronic Nose* Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation Untuk Mendeteksi Penyakit Diabetes Militus. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Febrianti, T., & Harahap, E. 2021. Penggunaan Aplikasi MATLAB dalam Pembelajaran Program Linear. *Jurnal Matematika*, 20 (1),1–7.
- Fibrianda, M. F., & dan Adhitya Bhawiyuga. (2018). Analisis Perbandingan Akurasi Deteksi Serangan Pada Jaringan Komputer Dengan Metode Naïve Bayes Dan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2 (9), 3112–3123.
- Firmawati, N., & Triyana, K. 2016. Kelayakan Teknologi Electronic Nose untuk Mendeteksi Urin yang Mengandung Metadon dengan Menggunakan Principal Component Analysis (PCA). *Jurnal Ilmu Fisika*, 8 (1), 45–51.
- Graupe, D. 2006. *Principles of Artificial Neural Network*. World Scientific.

Chicago.

- Gumelar, D. M., & Rivai, M. 2017. Rancang Bangun Wireless Electronic Nose Berbasis Teknologi Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik ITS*, 6 (2), 6–10.
- Gunawan, B., & Jazuli, A. 2013. Sistem Pendeteksian Gas Formalin Pada Bahan Makanan Dengan Sensor Gas Berbahan Polimer Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST). *Jurnal Teknologi Pangan*, 6 (1), 21–32.
- Gunawan, B., & Sudarmadji, A. 2013. Pendeteksian Formalin pada Bahan Pangan dengan Sensor Gas. *Jurnal Penelitian Pekerti*, 3(2),110–115.
- Handayani, Laras. 2022. Deteksi Rempah-Rempah Electronic Nose Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Backpropagation. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Hasibuan, A. A., Yusibani, E., & Surbakti, M. S. (2017). Perancangan Sensor Gas Hidrogen Berbasis Metal Oxide Semikonduktor (MOS) Design of Hydrogen Gas Sensor Based on Metal Oxide Semiconductor (MOS). *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*, 6(1), 20–24.
- Hidayat, S. N., Triyana, K., Fauzan, I., Julian, T., Lelono, D., Yusuf, Y., Ngadiman, N., Veloso, A. C. A., & Peres, A. M. (2019). The Electronic Nose Coupled With Chemometric Tools For Discriminating The Quality Of Black Tea Samples In Situ. *Chemosensors Journal*, 7 (3), 1–5.
- Irawan, F.A. 2012. *Buku Pintar Pemograman Matlab*. Yogyakarta. Mediakom.
- Indrawan, A.w., Muchtar, N.,&Kautsar, I. A1. (2020) . Rancang Bangun ATS/AMF Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7 (1), 617-631.
- Iskandar, A., Muhajirin, M., & Lisah, L. 2017. Sistem Keamanan Pintu Berbasis Arduino Mega. *Jurnal Informatika Upgris*, 3 (2), 99–104.
- Ismarti, I. 2021. Rapid Detection Of Pork and Pig Derivatives Based On Volatile Compounds Aroma Using Electronic Nose. *Journal of Halal Product and Research*, 4 (2), 59.
- Jauhari, D., Hinawan, Al., & Candra, D. 2016. Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 12 (1), 3–6.
- Jumianto, S., Mujadin, A., Nabila, D. H., & Anugrah, D. B. 2020. Principle Component Analysis Untuk Klasifikasi Olahan Bakso Babi dan Sapi Menggunakan Electronic Nose. *Laporan Kemajuan Penelitian*. Universitas Al Azhar Indonesia.
- Kalaij, A. G. I. (2022). Integrasi Analisis Uji Cetak Napas Berbasis *E-nose* Sebagai

Solusi Baru Deteksi Dini Penyakit Paru Obstruktif Kronik Akibat Polusi Udara Di Lingkungan Rumah Pada Masa Pandemi Covid-19. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kedokteran Indonesia (JIMKI)*, 9 (3), 106–115.

- Kanan, S. M., El-kadri, O. M., Abu-yousef, I. A. and Kanan, M. C. 2009. Semiconducting Metal Oxide Based Sensors for Selective Gas Pollutant Detection. *Sensors*, pp. 8158–8196.
- Khasanah, R., Parman, S., & Suedy, S. W. A. 2017. Kualitas Madu Lokal dari Lima Wilayah di Kabupaten Wonosobo. *Jurnal Biologi*, 6 (1), 29–37.
- Kustian, N. 2016. Principal Component Analysis Untuk Sistem Pengenalan Wajah dengan Menggunakan Metode Eigenface. *Jurnal String*, 1 (2), pp. 193-202.
- Lestari, Mugi Nurbaiti, Upik Fianti. 2021. Efektivitas Penggunaan Sensor MQ-7 Terintegrasi Aplikasi Blynk Untuk Mendeteksi Keberadaan Gas CO di Udara. *EnviroScienteeae Journal*, 17 (1), 76–82.
- Lintang, C. A., Widodo, T. W., & Lelono, D. 2016. Rancang Bangun Electronic Nose untuk Mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)*, 6 (2), 129.
- Macias, M.M ., Agudo, J.E., A.G., Orellana, C.J.G., Velasco, H.M.G. and Caballero, R.G. 2014. Improvising Short Term Instability for Quantitive Analyses with Portable Electronics Noses. *Sensors*, 14 (6), pp. 10514-10526.
- Mia, M.R., Majumder, A., Mia, M.J., Supriya, S., & Habib, M.T. 2019. Computer Vision Based Local Fruit Recognition. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 9 (1), 1-9.
- Mulyadi, & Arsianti, R. wahyuni. 2015. Sistem Penciuman Elektronik Untuk Pendeteksian Uap Formalin Pada Produk Perikanan. *Jurnal Harpodon Borneo*, 5 (1), 1-9.
- Mundriyastutik, Y., Kusumatuti, D., & Tuzzahroh, F. 2020. Evaluasi Kadar Formaldehid Ikan Teri (*Stolephorus Heterolobus*) Asin Dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Farmasi*, 5 (2), 19–25.
- Musthofa, M. U., Umma, Z. K., & Handayani, A. N. 2017. Analisis Jaringan Saraf Tiruan Model Perceptron Pada Pengenalan Pola Pulau di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 11 (1), 89–100.
- Nasution, M. D. A. N., Hadianata, J. T., & Damanik, I. S. 2019. Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation untuk Klasifikasi Data Tilang Berdasarkan Jenis Pelanggaran. *Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, 2 (1), 547–556.
- Negari, I. G. ., Effendi, R., Kodri, W., & Maria, I. 2006. *Penyalahgunaan Formalin*

dan Peran Pemerintah. Media Industri. Departemen Perindustrian. Jakarta Pusat.

- Oheo, D. D., Tosepu, R., & Yasnani. 2020. Analysis of Formaldehyde Preservatives in Salted Fish from Traditional Markets in Kendari City. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 1 (2), 76–81.
- Pearce, T. ., Schiffman, S. ., & Nagle, H. T. 2003. *Chemical Sensing In Humans and Machines*. California Digital Library. San Diego.
- Prasetyo, E. 2012. *Data Mining: Konsep dan Aplikasi Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta. ANDI.
- Pratiwi, D., Budi, Santoso Muslimah, L., & Rizki, R. D. 2019. An Intelligent Dengue Hemorrhagic Fever Severity Level Detection Based on Deep Neural Network Approach. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, 12 (2) , 31-39 .
- Putri Adisasmita, A., Yulawati, S., & Hestningsih, R. 2019. Survei Keberadaan Formalin Pada Produk Perikanan Laut Segar yang Dijual Di Pasar Tradisional Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 3 (3), 1-11.
- Rahman, I. N., Lelono, D., & Triyana, K. 2018. Klasifikasi Kakao Berbasis *e-nose* dengan Metode Neuro Fuzzy. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation System (IJEIS)*, 8 (1), 49-58.
- Rendyansyah, R., Passarella, R., & Eftika, R. 2018. Implementasi Sensor Gas dan Fuzzy Logic Untuk Mendeteksi Formalin pada Tahu. *Annual Research Seminar (ARS)*, 4 (1), 156–160.
- Russell, S.j., Norvig, P., Canny, J.F., Malik, J. M., Edwards, D. D., Jonathan, S. S., J.S., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence A Modern Approach*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Satria, Budy. 2018. Prediksi Volume Penggunaan Air PDAM Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 2 (3), 674–684.
- Sa'diyah, H., Regeista, F., Syahwal, A. J., & Yatmo, H. 2009. Digital Formaldehyde Meter "Inovasi Pendeteksi Kandungan Formalin Cepat dan Akurat Dengan Teknologi Berbasis Instrumen Electronic Nose. *Jurnal Teknik Pertanian*, 2 (1), 1–5.
- Sa'diyah, H., Regeista, F., Syahwal, A. J., & Yatmo, H. 2014. “Digital Formaldehyde Meter” Inovasi Pendeteksi Kandungan Formalin Cepat dan Akurat dengan Teknologi Berbasis Instrumen Electronic Nose. *Jurnal Teknik Pertanian*, 2 (1), 1–5.
- Scott, S.M., James, D.& Ali, Z,2006. Data Analysis for Electronic Nose Systems.

Microchimica Acta, 7 (2), p. 1273-1284.

- Shovic, J., & Simpson, A. 2019. *Python All-in-one for Dummies*. John Wiley&Sons. New Jersey.
- Simamora, Joshwa. 2017. Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kesegaran Daging Berdasarkan Sensor Bau dan Warna. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Siswanto, S., Anif, M., Hayati, D. N., & Yuhefizar, Y. 2019. Pengamanan Pintu Ruangan Menggunakan Arduino Mega 2560, MQ-2, DHT-11 Berbasis Android. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 3 (1), 66–72.
- Sovia, Rini. 2018. Jaringan Syaraf Tiruan Analisa Pengaruh Gizi Buruk Terhadap Perkembangan Balita dengan Algoritma Perceptron. *Jurnal Ilmiah Media SISFO*, 12 (1), 1003–1011.
- ST.Fatimah, A. T., Sarwo, Y. B., & S., N. Y. 2017. Peran Balai Pom Jambi Dalam Perlindungan Konsumen Berbahaya yang Dapat Berakibatkan Bagi Kesehatan. *Jurnal Hukum Kesehatan*, 3 (2), 132–140.
- Sudarmaji, A., Margiwiyatno, A., Sulistyono, S. B., Kuncoro, P. H., Sri. 2019. Karakteristik Deret Sensor Gas Mos Dalam Identifikasi Patchouli Alcohol Pada Minyak Characteristic Of Array Mos Gas Sensors On Patchouli Alcohol Identification in Patchouli Oil Using Artificial Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika*, 7 (2), 148–160.
- Suhartanto, Rokky Septian, Candra Dewi dan Lailil Muflikhah. 2017. Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation untuk Mendiagnosis Penyakit Kulit pada Anak. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 1 (7), 555–562.
- Sumanto, B., Java, D. R., Wijaya, W., & Hendry, J. 2022. Seleksi Fitur Terhadap Performa Kinerja Sistem *E-nose* untuk Klasifikasi Aroma Kopi Gayo. *Jurnal Manajemen Teknik Informatika, dan Rekayasa Komputer*, 21 (2), 429–438.
- Suryaningsih, S., Yuda Mindara, J., Hidayat, S., & Chaerunnisa, I. 2017. Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gas CO Berbasis Nirkabel RF Untuk Pemantauan Kondisi Pencemaran Udara. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 1 (1), 45–50.
- Syahrudin, S., & Mandailina, V. 2017. Pengembangan Modul Pemrograman Komputer Berbasis Matlab. *Jurnal Teori dan Aplikasi Matematika (JTAM)*, 1 (1), 1-9.
- Tatuh, H. A., Rorong, J. A., & Sudewi, S. 2016. Analisis Kandungan Formalin pada Berbagai Jenis Daging di Pasar Swalayan Kota Manado. Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT Manado. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 5 (4), 168–173.

- Wahyuni, Aryza, S., Tarigan, A. D., Haryanto, E., & Indrawan, M. I. 2020. Peningkatan Keamanan Kawasan Sehat Dengan Alat Pendeteksi Karbon Monoksida Berbasis Mikrokontroller. *Jurnal Abdi Ilmu*, 13 (2), 187–194.
- Widodo, Slamet. 2019. Pengembangan Hidung Elektronik untuk Klasifikasi Mutu Minyak Goreng dengan Metode Principal Component Analysis. *Jurnal Elektro dan Instrumentasi*, 12 (2), 92–112.
- Wijaya, Anggi Hadi. 2019. Artificial Neural Network untuk Memprediksi Beban Listrik dengan Menggunakan Metode Backpropagation. *Jurnal Core IT*, 5 (2), 61–70.
- Xu, M., Wang, J., & Gu, S. 2019. Rapid Identification of Tea Quality By *E-Nose* And Computer Vision Combining with A Synergetic Data Fusion Strategy. *Journal of Food Engineering*, 2 (1), 10–17.
- Yusran, Y. 2016. Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan (Jst) Untuk Memprediksi Hasil Nilai Un Menggunakan Metode Backpropagation. *Jurnal Ipteks Terapan*, 9 (4), 269–275.
- Zola, F., Nurcahyo, G. W., & Jaringan, T. K. 2018. Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Algoritma Backpropagation Untuk Memprediksi Prestasi Siswa. *Jurnal Teknologi dan Open Sourche*, 1 (1), 58–72.