

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

(Skripsi)

**Oleh
Adhito Dwi Danendra**



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

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM *ELECTRONIC NOSE (E-NOSE)* BERBASIS MULTISENSOR MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN METODE *BACKPROPAGATION* DENGAN SAMPEL UJI BORAKS

Oleh

Adhito Dwi Danendra

Penelitian mengenai rancang bangun *electronic nose (e-nose)* telah dilakukan dengan sampel uji boraks. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancang bangun *e-nose* yang dapat mendeteksi boraks dengan variasi konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST) metode *backpropagation*, boraks adalah senyawa kimia yang disebut natrium tetraborat ($(\text{Na}_2\text{B}_4)\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) yang berbentuk kristal lunak dan berubah menjadi natrium hidroksida (NaOH) dan asam borat (H_3BO_3) ketika dilarutkan dalam air. Untuk mendeteksi gas pada boraks, digunakan deret sensor gas yang sensitif terhadap alkohol, metana, hidrogen, dan karbon monoksida. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135. Tahap penelitian meliputi pengujian sensor, pengambilan data, analisis tegangan sensor, plot *principal component analysis (PCA)*, pelatihan JST, dan analisis kinerja JST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi rancang bangun *e-nose* dapat membedakan kandungan gas pada boraks dan pengolahan data dengan JST menggunakan metode *backpropagation* menunjukkan dengan jelas perbedaan antara pola kandungan gas boraks pada konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Analisis dengan menggunakan PCA diperoleh nilai variasi sebesar 98,69% dengan *error value* pelatihan JST sebesar 5% pada *hidden layer 7*.

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

ABSTRACT

DESIGN SYSTEM OF ELECTRONIC NOSE MULTIPLE SENSOR BASED USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BACKPROPAGATION METHOD WITH BORAX TEST SAMPLE

By

Adhito Dwi Danendra

A research on the design of electronic nose (e-nose) has been conducted with borax test samples. The purpose of this research is to design an e-nose that can detect borax with concentration variations of 100 ppm, 200 ppm, and 300 ppm using the artificial neural network (ANN) backpropagation method. Borax is a chemical compound called sodium tetraborate ($(\text{Na}_2\text{B}_4)\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) which is in the form of soft crystals and turns into sodium hydroxide (NaOH) and boric acid (H_3BO_3) when dissolved in water. To detect the gas in borax, a series of gas sensors sensitive to alcohol, methane, hydrogen and carbon monoxide are used. The sensors used in this research are MQ-2, MQ-4, MQ-8, and MQ-135. The research phase includes sensor testing, data collection, sensor voltage analysis, principal component analysis (PCA) plot, JST training, and JST performance analysis. The results showed that the implementation of the e-nose design can distinguish the gas content of borax and data processing with JST using the backpropagation method clearly shows the difference between the patterns of borax gas content at concentrations of 100 ppm, 200 ppm, and 300 ppm. Analysis using PCA obtained a variation value of 98.69% with a JST training error value of 5% in hidden layer 7.

Keywords : *backpropagation, borax, e-nose, ANN, PC.*

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

Oleh

Adhito Dwi Danendra

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
Syaraf Tiruan Metode *Backproagation* dengan
Sampel Uji Boraks

Nama Mahasiswa : Adhito Dwi Danendra

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041057

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 4 Desember 2023

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



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



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

2. Ketua Jurusan Fisika

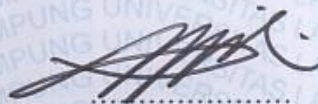


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

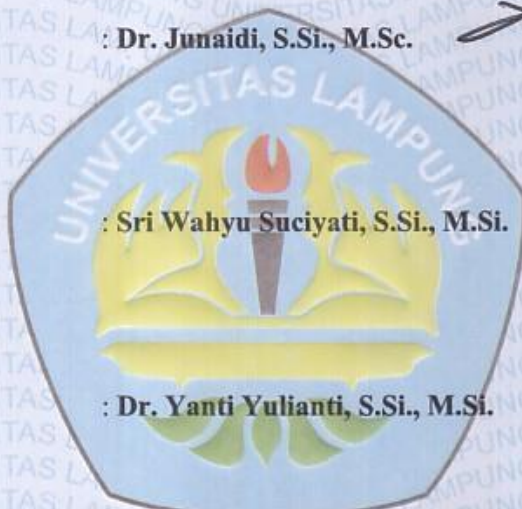
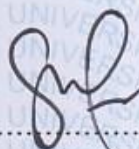
Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



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



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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **13 November 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa 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 yang 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 dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 4 Desember 2023



Adhito Dwi Danendra
NPM. 1917041057

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Adhito Dwi Danendra. Penulis dilahirkan di Pandeglang pada 27 Oktober 2001. Penulis merupakan anak kedua dari bapak Aden Arif dan ibu Ita Yuana Arifin.

Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Aisyah Labuan pada tahun 2007, SDN 3 Labuan pada tahun 2013, SMPN 1 Labuan pada tahun 2016, dan SMAN 3 Pandeglang pada tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2019. Selama menempuh pendidikan, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Serpong, dengan judul “Instalasi *Walkthrough Metal Detector* Pada Radiasi Portal Monitor di Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) BATAN Serpong”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode II tahun 2022 di Pekon Sidorejo, Tanggamus.

Penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi sebagai anggota biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga (KRT) HIMAFI FMIPA Unila tahun 2021. Penulis juga sebagai asisten praktikum mata kuliah Sistem Kendali pada tahun 2023 dan Sensor Aktuator pada tahun 2023.

PERSEMBAHAN

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

Kedua Orangtuaku

Ayah Wildan Awaludin Ma'ruf dan Ibu Ita Yuana Arifin
Yang telah memberikan dukungan moral maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan putranya.

Kakak dan Adiku

Maulidya Pramaditha, Danella Nabilla Balqis, dan Nadheef Abdillah
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.

Teman-teman & Rekan Seperjuangan Fisika 2019

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

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

MOTTO

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya
sesudah kesulitan itu ada kemudahan”*

(QS. Al-Insyirah : 5-6)

*“Aku mencintai permasalahanku, karena kutahu yang memberiku permasalahan
juga mencintaiku”*

(Jalaluddin el-Rumi)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat 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 Metode *Backpropagation* dengan Sampel Uji Boraks**”. 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, 4 Desember 2023

Penulis

Adhito Dwi Danendra

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. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan 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 Ita Yuana Arifin, Ayah Wildan Awaludin Ma'ruf, Kakakku Maulidya Pramaditha dan Danella Nabila Balqis, dan Adikku Nadheef Abdillah yang senantiasa memberikan doa, semangat, pengorbanan, nasihat, dan kasih sayang pada 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 Aryu Kusmita, Ajeng Rianti Dewi, Aulia Nofdzihar Baehaqi, Arian Rizal, Afifah Zahro, Dwina Nurizky Syahputri, dan Larasati Handayani yang telah memberikan motivasi, bantuan, dan semangat kepada penulis selama menyelesaikan studi.
12. Seluruh mahasiswa/i Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung angkatan 2019, dan teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Bandar Lampung, 4 Desember 2023

Penulis

Adhito Dwi Danendra

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	

2.1	Penelitian Terkait	7
2.2	Teori Dasar	10
2.2.1	<i>Electronic Nose</i>	10
2.2.2	ESP32 Module.....	13
2.2.3	<i>Metal Oxide Sensor (MOS)</i>	14
2.2.5	Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	21
2.2.6	Metode <i>Backpropagation</i>	23
2.2.7	<i>Software Matlab</i>	26
2.2.8	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	27
2.2.9	Boraks	29

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2	Alat dan Bahan	32
3.2.1	Bahan- Bahan Penelitian	32
3.2.2	Alat- Alat Penelitian.....	32
3.3	Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1	Perancangan Alat	37
3.3.2	<i>Array Gas Sensor</i>	39
3.3.3	Perancangan JST	41
3.3.4	Pengujian dan Analisis Sitem <i>E-nose</i>	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Realisasi <i>E-nose</i>	46
4.2	Pengujian Sensor Gas	49
4.3	Perangkat Lunak JST.....	51
4.3.1	Perekaman Data Sampel	51
4.3.2	Proses <i>Fitting Data</i>	52
4.3.3	Penentuan Puncak	53
4.3.4	Analisis Tegangan Sensor.....	53
4.3.5	Plot PCA	56
4.3.6	Pelatihan JST.....	57
4.4	Analisis Kinerja JST	64
4.5	Pengujian Data	70

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan.....	72
5.2	Saran.....	72

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Score Plot Sampel Ikan Air Tawar.....	9
Gambar 2.2 Arsitektur JST.....	9
Gambar 2.3 Presepsi Penciuman Manusia	11
Gambar 2.4 Arsitektur Standar <i>E-nose</i>	12
Gambar 2.5 Modul ESP32 WROOM-32.....	14
Gambar 2.6 Sensor dan Karakteristik Deteksi Gas Untuk NO ₂	16
Gambar 2.7 Modul Sensor MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135.....	17
Gambar 2.8 Grafik Sensitivitas Sensor MQ-2.....	17
Gambar 2.9 Grafik Sensitivitas Sensor MQ-4.....	18
Gambar 2.10 Grafik Sensitivitas Sensor MQ-8.....	19
Gambar 2.11 Grafik Sensitivitas Sensor MQ-135.....	20
Gambar 2.12 Struktur <i>Neuron</i> Mamalia.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 3.2 Skema Alat <i>E-nose</i>	35
Gambar 3.3 Desain 3d <i>E-nose</i> (a) Bagian Depan dan (b) Belakang	37
Gambar 4.1 Realisasi Sistem <i>E-nose</i> (Bagian Depan)	46
Gambar 4.2 Realisasi Sistem <i>E-nose</i> (Bagian Belakang).....	47
Gambar 4.3 Realisasi Sistem <i>E-nose</i> (Bagian Dalam)	48
Gambar 4.4 Rangkaian <i>Array</i> Sensor <i>E-nose</i>	49
Gambar 4.5 Grafik Respon Puncak Sensor (a) MQ-2 (b) MQ-8 (c) MQ-135 (d) MQ-4 Terhadap Gas Boraks	54
Gambar 4.6 Grafik Respon Puncak Seluruh Sensor Terhadap Gas boraks.....	55
Gambar 4.7 PCA Sensor Dari Variasi Konsentrasi Larutan Boraks	56
Gambar 4.8 Arsitektur JST Dengan Jumlah <i>Hidden Layer</i> 3	58

Gambar 4.9 Arsitektur JST dengan Jumlah <i>Neuron Hidden Layer</i> 4	59
Gambar 4.10 Arsitektur JST Dengan Jumlah <i>Neuron Hidden Layer</i> 7	62
Gambar 4.11 Tampilan GUI JST.....	64
Gambar 4.12 Jumlah <i>Neuron Hidden Layer</i> Optimal.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Keberhasilan Identifikasi Kandungan Boraks	8
Tabel 2.2 Spesifikasi Modul ESP32.....	14
Tabel 3.1 Rencana Jadwal Pelaksanaan Penelitian	31
Tabel 3.2 Jenis Sensor Gas.....	32
Tabel 3.3 Data latih sampel	36
Tabel 3.4 Jumlah <i>Node Hidden Layer</i>	43
Tabel 3.5 Data Uji Sistem <i>E-nose</i>	44
Tabel 3.6 Rancang Tabel <i>Confusion Matrix</i>	44
Tabel 4.1 Konsentrasi Larutan Boraks yang Digunakan.....	50
Tabel 4.2 Bobot Positif pada <i>Hidden Layer 3</i>	58
Tabel 4.3 <i>Hidden Layer 3</i> yang Berpengaruh pada Konsentrasi Sampel.....	59
Tabel 4.4 Total Bobot Positif pada <i>Hidden Layer 3</i>	59
Tabel 4.5 Bobot Positif Pada <i>Hidden Layer 4</i>	60
Tabel 4.6 Neuron <i>Hidden Layer 4</i> yang Berpengaruh pada Konsentrasi Sampel	60
Tabel 4.7 Total Bobot Positif Pada <i>Hidden Layer 4</i>	61
Tabel 4.8 Bobot Positif pada <i>Hidden Layer 7</i>	62
Tabel 4.9 <i>Hidden Layer 7</i> yang Berpengaruh pada Konsentrasi Sampel.....	63
Tabel 4.10 Total Bobot Positif pada <i>Hidden Layer 7</i>	63
Tabel 4.11 Total Bobot Positif pada Seluruh <i>Hidden Layer</i>	63
Tabel 4.12 Hasil Prediksi <i>Hidden Layer 3</i>	65
Tabel 4.13 Binary Confusion Matrix <i>Hidden Layer 3</i>	66
Tabel 4.14 Analisa Parameter JST <i>Hidden Layer 3</i>	66
Tabel 4.15 Hasil Prediksi <i>Hidden Layer 4</i>	66
Tabel 4.16 Binary Confusion Matrix <i>Hidden Layer 4</i>	67

Tabel 4.17 Analisa Parameter JST <i>Hidden Layer 4</i>	67
Tabel 4.18 Hasil Prediksi <i>Hidden Layer 7</i>	68
Tabel 4.19 Binary Confusion Matrix <i>Hidden Layer 7</i>	68
Tabel 4.20 Analisa Parameter JST <i>Hidden Layer 7</i>	68
Tabel 4.21 Nilai Rata-Rata Parameter JST <i>Hidden Layer 7</i>	69
Tabel 4.22 Data Pengujian Sistem <i>E-nose</i>	71

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam teknologi sensor, elektronik, biokimia, dan kecerdasan buatan memungkinkan untuk mengembangkan perangkat yang mampu mengukur dan mengkarakterisasi gas yang mudah menguap yang dilepaskan dari banyak sumber untuk berbagai aplikasi. Metode instrumentasi untuk menentukan *volatile organic compounds* (VOC), seperti *gas chromatography–mass spectrometry* (GC-MS), membutuhkan dana yang banyak dan tenaga ahli. Oleh karena itu, banyak dorongan untuk membuat perangkat untuk analisis VOC yang cepat dan murah yang tidak memerlukan tenaga ahli. Sensor gas kimia dapat menggabungkan lapisan pendeteksi bahan kimia dan mengubah interaksi kimia menjadi sinyal terukur, mereka melakukan deteksi VOC yang cepat dan murah dengan interpretasi sederhana (Scott *et al.*, 2006). Teknologi sensor penciuman buatan dimulai dengan penemuan *array* multisensor gas pertama pada tahun 1982, yang berkembang hingga menghasilkan perangkat yang dikenal sebagai *electronic nose* (*e-nose*), perangkat untuk meniru sistem penciuman manusia dalam instrumen yang dirancang untuk memperoleh pengukuran berulang, memungkinkan identifikasi dan klasifikasi campuran gas (Wilson & Baietto, 2009).

E-nose adalah sistem yang beroperasi secara berurutan pada sampel pengendali aroma sampel, rangkaian sensor gas, dan sistem pemrosesan sinyal. Keluaran dari *e-nose* dapat berupa identitas aroma, perkiraan konsentrasi aroma, atau sifat karakteristik aroma yang ada mungkin dirasakan oleh manusia. *Fundamental e-nose* adalah bahwa setiap sensor dalam susunan memiliki sensitivitas yang berbeda. Misalnya bau A menghasilkan respon yang tinggi di satu sensor dan respon yang

lebih rendah di sensor lainnya, sementara bau B dapat menghasilkan pembacaan yang tinggi untuk sensor selain yang menangkap bau A (Nagle *et al.*, 1998).

Dua komponen utama *e-nose* adalah sistem penginderaan dan pengenalan pola otomatis. Sistem penginderaan dapat berupa larik dari beberapa elemen penginderaan yang berbeda misalnya sensor gas kimia, di mana setiap elemen mengukur sifat berbeda dari bahan kimia yang dideteksi, atau dapat berupa perangkat pendeteksi tunggal misalnya spektrometer yang menghasilkan serangkaian pengukuran untuk masing-masing bahan kimia, atau bisa juga kombinasi. Setiap gas kimia yang disajikan ke susunan sensor menghasilkan ciri khas atau pola dari uap tersebut. Dengan menghadirkan banyak bahan kimia berbeda ke susunan sensor, basis data tanda tangan dibuat. Basis data tanda tangan berlabel ini digunakan untuk melatih sistem pengenalan pola. Tujuan dari proses pelatihan ini adalah untuk mengkonfigurasi sistem pengenalan untuk menghasilkan klasifikasi unik dari setiap bahan kimia sehingga identifikasi otomatis dapat diterapkan. Kuantitas dan kompleksitas data yang dikumpulkan oleh susunan sensor dapat membuat analisis data konvensional secara otomatis menjadi sulit. Salah satu pendekatan untuk identifikasi gas bahan kimia adalah membangun susunan sensor, di mana setiap sensor dalam susunan dirancang untuk merespons bahan kimia tertentu. Dengan pendekatan ini, jumlah sensor setidaknya harus sama banyaknya dengan jumlah bahan kimia yang dipantau (Keller *et al.*, 1995).

JST mengacu pada sistem komputasi yang tema sentralnya dipinjam dari analogi jaringan saraf biologis. JST memiliki kemampuan untuk belajar dari lingkungan. Proses penyerapan dalam otak manusia melibatkan proses belajar melalui pengamatan dan pengulangan sampai kondisi yang diperlukan. Dalam hal ini, JST dapat memproses masukan yang ditangkap melalui hubungan masukan-keluaran yang kompleks (Dongare *et al.*, 2012). Salah satu metode JST adalah *backpropagation*, yaitu salah satu metode JST dengan satu atau lebih lapisan tersembunyi dan proses koreksi kesalahan. *Backpropagation* sangat populer karena konsepnya sederhana dan efisien secara komputasi. Ini dapat digunakan untuk melatih kemampuan jaringan dalam memberikan respon yang benar terhadap pola masukan dengan model yang digunakan selama pelatihan (Jauhari *et al.*, 2016).

E-nose yang dapat digabungkan dengan jaringan syaraf tiruan (JST) telah banyak didemonstrasikan dalam berbagai aplikasi. Banyak konfigurasi JST dan algoritma pelatihan telah digunakan untuk membangun *e-nose* termasuk jaringan *feed-forward*, *backpropagation*, *fuzzy ARTmaps*, *self-organizing maps* (SOM), *learning vector quantizers* (LVQ), jaringan Hamming, mesin Boltzmann, dan jaringan Hopfield (Keller *et al.*, 1995).

E-nose memiliki peningkatan teknologi dalam sensor dan realisasi potensi yang dimiliki *e-nose* menyebabkan perluasan aplikasinya yang cukup besar. Karena penyediaan solusi yang andal, kecepatan, biaya rendah, dan kekompakan, konsep *e-nose* telah menjadi populer di bidang pertanian untuk mendeteksi kematangan buah, industri makanan untuk mendeteksi kadar racun seperti boraks pada makanan, obat-obatan, dan banyak bidang lainnya (Karakaya *et al.*, 2020).

Boraks adalah senyawa yang sering ditambahkan ke makanan sebagai pengental atau pengawet. Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa senyawa asam borat ini sering dipakai pada makanan agar teksturnya menjadi bagus. (Cahyadi, 2012). Boraks merupakan salah satu bahan yang dilarang oleh Pemerintah untuk digunakan sebagai bahan tambahan pada pangan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No.1168/Menkes/PER/X/1999. Karena dapat menimbulkan efek racun, akan tetapi mekanismenya berbeda dari formalin. Hal ini dikarenakan apabila boraks masuk dalam tubuh manusia maka boraks akan disimpan secara kumulatif dalam otak, usus, testis atau hati sehingga dosisnya menjadi tinggi. Bila dikonsumsi dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kanker (Muharrami, 2015). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat mendeteksi gas boraks dengan menggunakan metode JST, hal ini dilakukan dengan menggunakan beberapa sensor untuk mendeteksi kandungan odor/gas dari larutan boraks (Rai *et al.*, 2015).

Para peneliti telah banyak mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi berbagai jenis aroma, (Tian, *et al.* 2012) Mengembangkan *e-nose* untuk memonitoring kesegaran dari ikan layur dan daging babi menggunakan *metal oxide sensors* (MOS) yang disimpan pada suhu 15, 10, dan 5 °C. Sampel diuji dengan metode *headspace* dinamis, dan dua fitur diekstraksi dari respons transien setiap sensor menggunakan

metode *principal component analysis* (PCA). Ikan layur mendapat hasil koefisien korelasi adalah 0,97 dan 0,91, dan untuk daging babi, koefisien korelasi masing-masing adalah 0,81 dan 0,88. Melalui simulasi laboratorium dan aplikasi lapangan, mereka menjelaskan dapat menentukan bahwa *e-nose* dapat membantu memastikan umur simpan ikan *hairtail* dan daging babi, terutama ketika instrumen diperlukan untuk melakukan pengukuran dengan cepat. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa *e-nose* dapat menganalisis proses dan tingkat pembusukan ikan *hairtail* dan babi.

Rai *et al.* (2015) mengembangkan *e-nose* untuk mengidentifikasi kandungan boraks dalam makanan, menggunakan kecerdasan buatan yaitu *feedforward multi-layer perceptron* diharapkan mampu mengenali kandungan boraks dalam makanan sehingga resiko negatif dari boraks terhadap manusia dapat dihindari. Penelitian ini menunjukkan dengan pengujian masing-masing 30 sampel untuk makanan tanpa boraks, mengandung sedikit boraks, mengandung banyak boraks dan boraks itu sendiri menunjukkan rata-rata tingkat keberhasilan sebesar 58,25%.

Lintang *et al.* (2016) telah mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi tingkat kebusukan ikan air tawar, menggunakan sensor TGS-2620, TGS-813, TGS-822, TGS-2600, dan TGS-2602. Sistem *electronic nose* yang dirancang mengalirkan udara dari ruang sampel ke ruang sensor menggunakan kipas. Dianalisis dengan metode PCA untuk menentukan pola aroma ikan air tawar. Hasil penelitian *e-nose* ini dapat mendeteksi aroma ikan air tawar dengan persentase variansi dua komponen utama sebesar 98,7% (bawal), 98,8% (lele), dan 99,5% (nila). Sensor yang memberikan respon tinggi pada setiap sampel adalah sensor TGS-2620 dan TGS-2600. Sensor TGS-822 memberikan respon tinggi pada ikan saat sudah tidak layak konsumsi.

Fadhlillah (2019) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor MQ-3, TGS-2600, dan TGS-2602. Sistem *e-nose* yang dibangun menggunakan JST dengan metode back propagation dan dilatih menggunakan *neuron network* (NN). Sampel uji yang digunakan adalah gas *Volatile Organic Compured* (VOC) pada bau pernapasan pasien penderita penyakit *Diabelitus Melitus* dan orang normal. Hasil penelitian ini dapat membedakan penderita penyakit diabetes dan orang

normal dengan *error* pelatihan sebesar 4,713% dengan nilai deviasi sebesar 22,385 ppm, dan nilai ketidakpastian relatifnya sebesar 13,151%.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka diperlukan penelitian mengenai pembuatan rancang bangun sistem *e-nose* dengan sensor *gas* MOS menggunakan metode JST metode *backpropagation*. Sensor yang digunakan yaitu sensor TGS-2600, MQ-3, MQ-4, dan MQ-7. Sampel uji yang digunakan adalah kandungan boraks dari berbagai variasi konsentrasi. Semua sensor akan dikalibrasi dan diuji tingkat sensitifitasnya dengan cara memberikan gas yang mampu dideteksi sensor dengan konsentrasi *parts per million* (ppm) tertentu. Gas sampel akan dianalisis di dalam *chamber* berupa boraks yang dimasukkan melalui pompa untuk mengontrol gas yang ada di *chamber*. *E-nose* akan dilatih untuk membedakan larutan boraks dengan tanpa boraks melalui bau 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 2020a. Setelah *e-nose* berhasil mendeteksi kandungan boraks dari berbagai konsentrasi, akan dilakukan pengambilan data pada sampel yang digunakan pada penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana membuat rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* untuk mengenali kandungan dari larutan boraks?,
2. Bagaimana membuat JST dapat mengenali kandungan larutan boraks dengan berbagai variasi konsentrasi dengan *e-nose*?, dan
3. Bagaimana membuat sistem *e-nose* yang dapat membedakan ada dan tidak adanya boraks?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini sebagai berikut.

1. Membuat rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* untuk mendeteksi kandungan boraks,

2. Menganalisis proses JST dalam mengenali boraks dengan berbagai variasi konsentrasi, dan
3. Membuat sistem *e-nose* yang mampu membedakan variasi konsentrasi dari larutan boraks.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Terealisasikan aplikasi sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *backpropagation* untuk mengidentifikasi boraks dengan berbagai konsentrasi,
2. Sebagai alat alternatif yang mampu mendeteksi adanya variasi konsentrasi dari boraks, dan
3. Sebagai referensi untuk pengembangan aplikasi *e-nose* kedepannya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Metode digunakan pada penelitian ini adalah metode *backpropagation*.
2. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah boraks dengan konsentrasi (100, 200, 300) ppm.
3. *E-nose* dilatih untuk dapat mengidentifikasi boraks dengan variasi konsentrasi (100, 200, 300) ppm.
4. Penelitian hanya terbatas pada perkembangan bau dan gas yang ada sampel.
5. Sensor gas yang digunakan adalah MQ-2, MQ-8, MQ-135, dan MQ-4.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

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

Tian *et al.* (2012) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan MOS untuk memonitoring kesegaran ikan *hairtail* dan daging babi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu membuat rancangan alat yang berupa *array* sensor yang ada pada *chamber*, lalu dipasangkan *multi-channel amplifier* (MCA) sebagai penguat keluaran sensor yang akan diproses menggunakan sistem akuisi data, sehingga dapat diterima oleh *personal computer* (PC). Setelah data diterima terkumpul oleh PC akan melakukan PCA dalam *software* Matlab. Pengujian dilakukan dengan bahan ikan *hairtail* dan daging babi pada suhu 15, 10, dan 5 °C dengan 4 kali pengulangan, untuk hasil untuk ikan *hairtail* didapatkan akurasi 87,5% sedangkan untuk daging babi didapatkan akurasi sebesar 91,7%.

Rai *et al.* (2015) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan MOS untuk mendeteksi boraks dengan metode *feed-forward multi-layer preceptron*. Dalam penelitian ini digunakan 4 buah sensor yaitu TGS-2600, TGS-2610, TGS-2611, dan TGS-2612 yang memiliki karakteristik hampir mirip antara yang satu dengan lainnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu membuat perancangan *vacuum chamber* yang sudah terintegrasi *air pump* untuk memasukan gas pada *chamber*, didalam *chamber* ada 4 sensor yang dapat di-

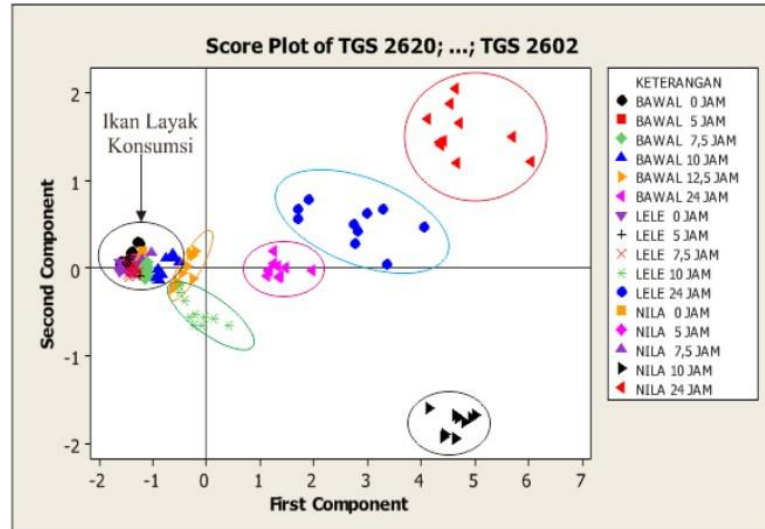
gunakan untuk mendeteksi gas. Pembuatan *minimum system* yang didalamnya ada *analog-digital converter* (ADC) digunakan untuk mengolah luaran dari *e-nose*, hingga perancangan NN untuk mengidentifikasi gas yang dideteksi. Tahap pengujian dilakukan dengan menggunakan 120 sampel uji, dengan masing-masing 30 kali pengujian untuk boraks, mie tanpa borak, mie sedikit borak dan mie lebih banyak borak. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Tingkat Keberhasilan Identifikasi Kandungan Boraks (Rai *et al.*, 2015)

Jenis Sampel	Jumlah Pengujian	Jumlah Diidentifikasi Sebagai		%
		Bebas Boraks	Mengandung Boraks	
Boraks	30	12	18	60
Mie Dengan Lebih Banyak Boraks	30	14	16	53
Mie Dengan Sedikit Boraks	30	17	13	57
Mie Tanpa Boraks	30	19	11	63

Dari **Tabel 2.1** memperlihatkan hasil pengujian menggunakan *e-nose* dengan metode JST *feedforward* mampu melakukan identifikasi dengan tingkat keberhasilan 58,25% secara keseluruhan.

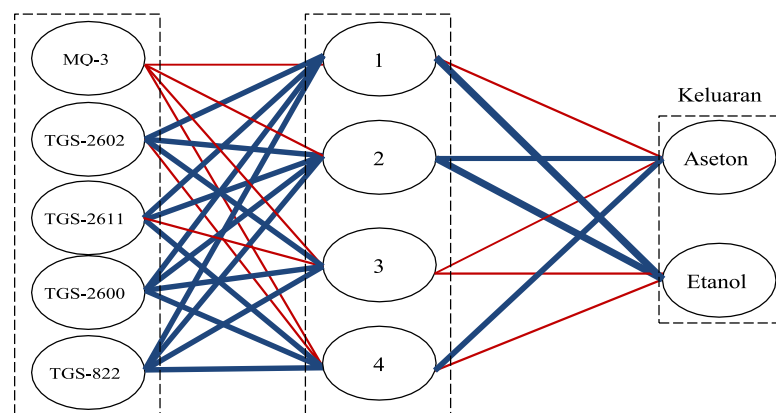
Lintang *et al.* (2016) telah mengembangkan *e-nose* untuk mendeteksi kebusukan ikan air tawar, menggunakan MOS dan PCA. Dalam penelitian ini digunakan 5 buah sensor yaitu TGS-2620, TGS-813, TGS-822, TGS-2600, dan TGS-2602. yang memiliki karakteristik hampir mirip antara yang satu dengan lainnya. Penelitian *e-nose* ini terdiri dari tiga komponen fungsional utama yang beroperasi secara *serial* pada sampel aroma yaitu *room chamber*, *sensor array*, dan sistem akuisisi data. Tahap dari penelitian ini dimulai dari perancangan *chamber*, didalamnya terdiri dari *array sensor* untuk mendeteksi gas dari ikan air tawar, lalu pemroses berupa mikrokontroler dan PC untuk melakukan PCA. Hasil penelitian ini dapat dilihat dari **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Grafik *Score Plot* Sampel Ikan Air Tawar (Lintang *et al.*, 2016)

Dari gambar memperlihatkan hasil bahwa data dari ikan layak konsumsi mengumpul di satu tempat dan memiliki perbedaan yang kecil. Hasil analisis PCA menunjukkan bahwa persentase variansi dua komponen utama sebesar 98,92%.

Fadhilillah (2019) telah mengembangkan *e-nose* menggunakan sensor MQ-3, TGS-2600, TGS-2602 untuk mendeteksi gas etanol sedangkan TGS-2611 dan TGS-822 untuk mendeteksi gas aseton. Sampel uji yang digunakan adalah gas 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 2.2**.



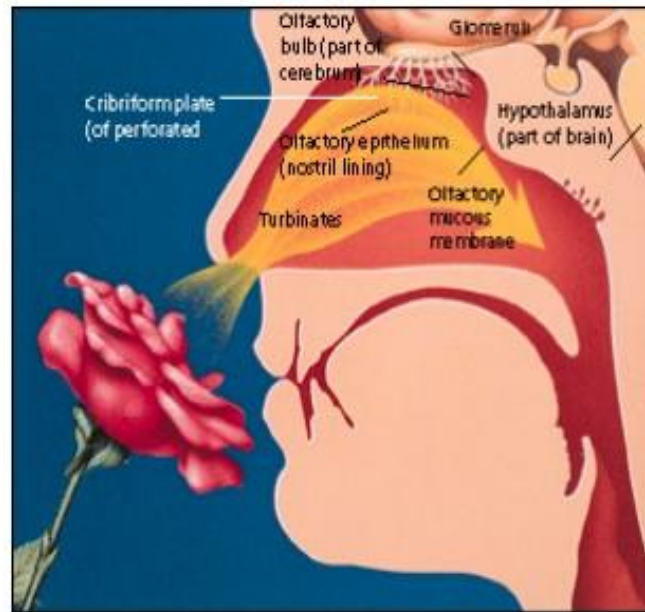
Gambar 2.2 Arsitektur JST (Fadhilillah, 2019)

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 aseton 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%.

2.2 Teori Dasar

2.2.1 *Electronic Nose*

E-nose diawali dengan meniru indera penciuman manusia melalui langkah-langkah yang mencirikan cara manusia mencium dimulai dengan mengendus, yang memindahkan sampel udara yang mengandung molekul bau melewati struktur tulang melengkung yang disebut turbinat. Turbinat menciptakan pola aliran udara turbulen yang membawa campuran senyawa volatil ke lapisan lendir tipis epitel penciuman hidung, di mana ujung sel saraf yang merasakan aroma muncul seperti pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Presepsi Penciuman Manusia (Nagle *et al.*, 1998)

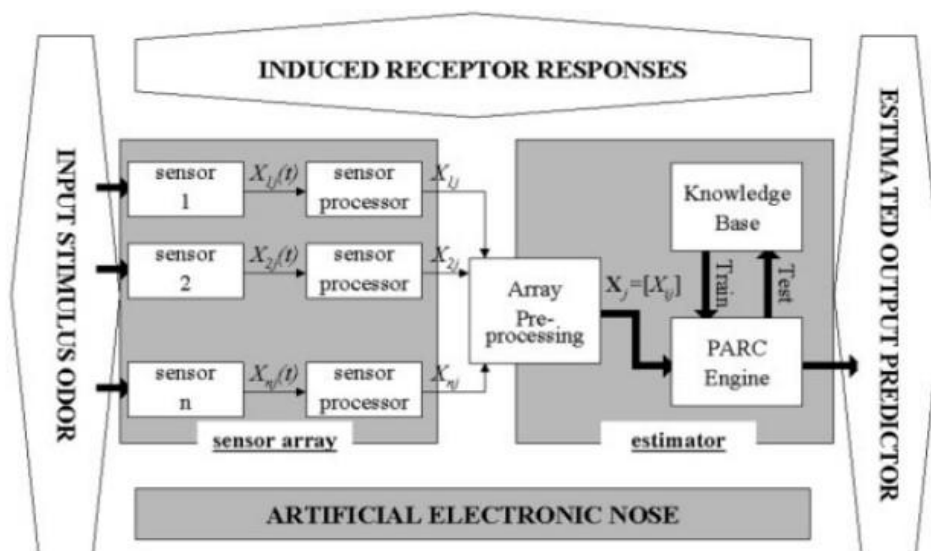
Persepsi manusia terhadap bau dimulai dengan mengendus, yang membawa sampel udara yang mengandung molekul bau melewati struktur tulang melengkung di hidung yang disebut konka. Pola aliran udara turbulen tercipta yang memungkinkan VOC mencapai lapisan lendir tipis yang melapisi epitel penciuman. Sel-sel sensorik untuk mendeteksi bau adalah bagian dari epitel (Nagle *et al.*, 1998).

E-nose adalah susunan sensor gas yang menggunakan pengenalan pola untuk mendeteksi volatil tertentu. *E-nose* telah digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk diagnosis penyakit pernapasan dan pencernaan melalui analisis napas, pemeriksaan pembusukan pada makanan, teknologi bir, robotika, dan identifikasi bau dengan analisis kualitatif dan kuantitatif. *E-nose* biasanya terdiri dari sensor kimia dengan spesifikasi berbeda, seperti MOS, sensor gas optik dan amperometrik, sensor akustik permukaan, dan sensor gas piezoelektrik (Tan & Xu, 2020).

E-nose dipahami untuk menggambarkan susunan sensor gas kimia dengan selektivitas yang luas dan sebagian tumpang tindih untuk pengukuran senyawa volatil dalam ruang di atas sampel yang dikombinasikan dengan alat pemrosesan data statistik multivarian terkomputerisasi. *E-nose* mendapatkan namanya karena dalam beberapa aspek mencoba menyerupai hidung manusia. Persepsi penciuman manusia didasarkan pada interaksi kimia antara senyawa bau yang mudah menguap

dan reseptor penciuman di rongga hidung. Sinyal yang dihasilkan ditransfer ke otak melalui sinapsis dan neuron sekunder dan selanjutnya mengarah ke sistem limbik di korteks di mana identifikasi bau terjadi berdasarkan pengenalan pola jaringan saraf.

Pada prinsipnya, *neuron* primer berhubungan dengan sensor kimia hidung elektronik dengan kepekaan berbeda terhadap bau yang berbeda. Dengan interaksi kimia antara senyawa bau dan sensor gas, keadaan kimiawi sensor diubah sehingga menimbulkan sinyal listrik yang didaftarkan oleh analog instrumen dengan neuron sekunder. Dengan cara ini sinyal dari masing-masing sensor mewakili pola yang unik untuk campuran gas yang diukur dan diinterpretasikan dengan teknik pengenalan pola multivariat seperti jaringan syaraf tiruan, otak instrumen. Sampel dengan bau yang mirip umumnya memunculkan pola respons sensor yang serupa dan sampel dengan bau yang berbeda menunjukkan perbedaan polanya. Ketika pola sensor untuk sampel seri dibandingkan, perbedaan dapat dikorelasikan dengan bau sampel yang dirasakan (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2009). Arsitektur standar untuk proses *E-nose* ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Arsitektur Standar *E-nose* (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2009)

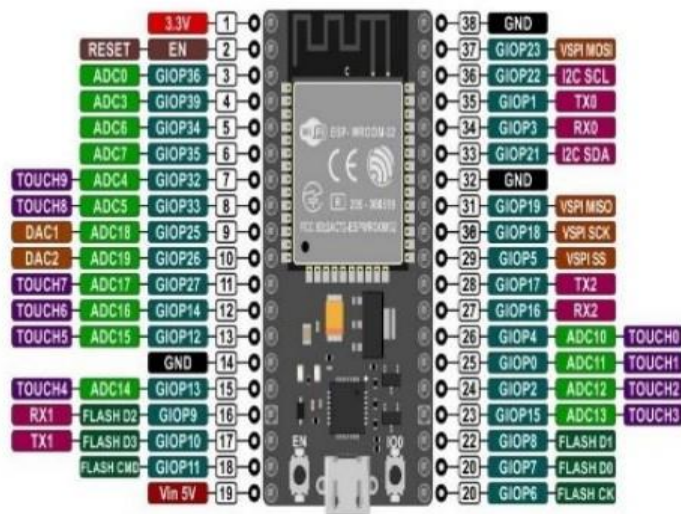
Sistem *e-nose* bisa menggunakan beberapa bagian, yaitu bagian larik sensor, pengkondisian sinyal, ADC, mikrokontroler, komunikasi serial, akuisisi data, *signal processing*, dan PCA (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2009).

Teknologi *e-nose* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode tradisional. *E-nose* memiliki sensitivitas, efisiensi, dan pengenalan yang tinggi dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan gas dan bau. Kemajuan terbaru dalam desain sensor, peningkatan material, inovasi *software*, dan kemajuan dalam teknologi *e-nose* telah menghasilkan deteksi volatil secara *real-time* yang cepat dengan waktu penyiapan yang lebih singkat. *E-nose* juga lebih aman daripada metode tradisional dan memberikan hasil yang cepat. Selain itu, *e-nose* dapat mendeteksi beberapa bau yang tidak dapat dideteksi dengan metode tradisional (Squire, 2009).

2.2.2 ESP32 Module

Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir mengikuti peningkatan permintaan dalam komunikasi dan kontrol untuk berbagai perangkat dan alat. Persyaratan utama yang digunakan untuk perangkat IoT modern adalah untuk menyediakan koneksi yang efektif untuk memastikan komunikasi jarak jauh dan *transfer* data yang andal di lingkungan nirkabel. Teknologi IoT secara signifikan berdampak pada banyak perkembangan teknologi. Kemampuan komunikasi canggih membentuk kembali properti dan operasi otomatisasi dan manufaktur industri, manajemen bisnis dan proses, transportasi dan logistik cerdas. Dalam hal aplikasi domestik, IoT meningkatkan otomatisasi rumah dan memperkenalkan teknologi berbasis komunikasi baru seperti domotik, kehidupan yang dibantu, *e-health* dan *e-learning*, dan banyak lagi (Maier *et al.*, 2017).

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Mikrokontroler ini kompatibel dengan Arduino IDE. Mikrokontroler ini sudah memiliki modul *Wireless Fidelity* (WiFi) dan terhubung ke *Bluetooth Low Energy* (BLE) melalui chip, sehingga sangat kuat dan bisa menjadi pilihan yang baik untuk membuat sistem aplikasi IoT. ESP32 adalah mikrokontroler 32-bit yang dilengkapi *wireless* atau WiFi dan BLE menggunakan protokol jaringan WiFi 802.11 B/G/N yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan Bluetooth V4.2.



Gambar 2.5 Modul ESP32 WROOM-32 (Pratama & Kiswanton, 2020)

Gambar 2.5 menunjukkan ESP32 dengan modul WROOM-32 memiliki 38 pin yang memiliki spesifikasi seperti pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Spesifikasi Modul ESP32 (Pratama & Kiswanton, 2020)

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	5 VDC
Arus	80 mA
Processor	Xtensa <i>dual-core</i> 32-bit LX6 600DIMPS
Dimensi	59.76mm×28.05mm×12.60mm
Bluetooth	802.11 b/g/n tipe HT40
Memory	448KB ROM, 520 SRAM, 16KB SRAM-RTC
Typical Frequency	160 MHz Resolusi ADC : 12 bit
Suhu	−40° sampai 125°
Sensor	Sentuh, temperatur, dan <i>hall effect sensor</i>
GPIO	34 22

Memori ESP32 terdiri dari 448 KB ROM, 520 KB SRAM, dua memori RTC 8 KB, dan memori flash 4MB. Chip ini memiliki 18 pin ADC (12-bit), empat unit SPI, dan dua unit I2C. Keuntungan utama dari mikrokontroler ini adalah bahwa harganya relatif murah (Pratama & Kiswanton, 2020).

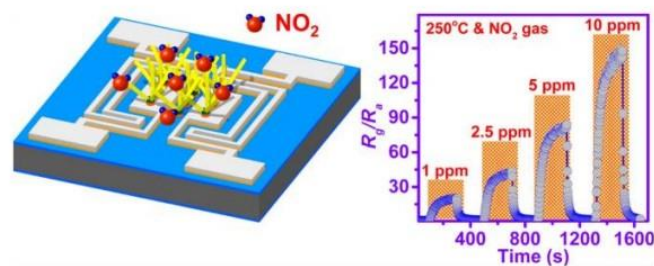
2.2.3 Metal Oxide Sensor (MOS)

MOS adalah sensor gas yang mendeteksi konsentrasi berbagai jenis gas dengan mengukur perubahan resistansi oksida logam akibat adsorpsi gas. MOS adalah permukaan oksida logam yang dipanaskan yang mengubah hambatan listriknya

tergantung pada kandungan oksigen di permukaan. Gas pengoksidasi seperti NO meningkatkan resistensi, sedangkan gas pereduksi seperti VOC menurunkan resistensi. *Semiconductor metal oxides* (SMO) banyak digunakan dalam sensor gas karena sifat penginderaan yang baik, kelimpahan dan kemudahan fabrikasi (Pickering *et al.*, 2018).

Sensitivitas sensor MOS sangat erat kaitannya dengan respon permukaan, sehingga salah satu parameter penting dari sensor gas adalah sensitivitas material oksida logam. Kinerja sensor gas bergantung pada banyak parameter seperti kapasitas adsorpsi, aktivitas katalis, sensitivitas, dan stabilitas termodinamika. Namun, dalam praktiknya, bahan oksida logam penginderaan gas yang banyak digunakan seperti TiO_2 , ZnO , SnO_2 , Cu_2O , Ga_2O_3 dan Fe_2O_3 adalah yang paling tidak aktif dari sudut pandang katalis (Wang *et al.*, 2010).

Sistem deteksi untuk memantau kualitas udara dan air menggunakan MOS sangat menarik untuk meningkatkan selektivitas dan sensitivitas perangkat pendeteksi arus, dan pada saat yang sama memungkinkan pengukuran simultan berbagai parameter dengan respons waktu nyata. Penggunaan oksida logam dalam sensor gas sangat luas, dengan beberapa penelitian melaporkan keuntungan mengintegrasikan bahan-bahan ini dalam perangkat tersebut, serta kinerja penginderaan gasnya sehubungan dengan sifat ukurannya. Teknologi penginderaan gas sebagian besar tersebar di berbagai bidang industri, tetapi juga di lingkungan rumah tangga, beberapa contohnya adalah industri otomotif, antara lain untuk kontrol kualitas udara dalam ruangan, pemantauan gas rumah kaca. Parameter terpenting dari perangkat sensor gas adalah sensitivitasnya, suhu operasi, selektivitas, stabilitas jangka panjang, konsumsi energi, reversibilitas, ketergantungan kelembaban rendah, dan akhirnya biaya produksi (Nunes *et al.*, 2019). Salah satu contoh MOS dan karakteristik deteksi gas untuk NO_2 seperti pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Sensor dan Karakteristik Deteksi Gas Untuk NO_2 (Nunes *et al.*, 2019)

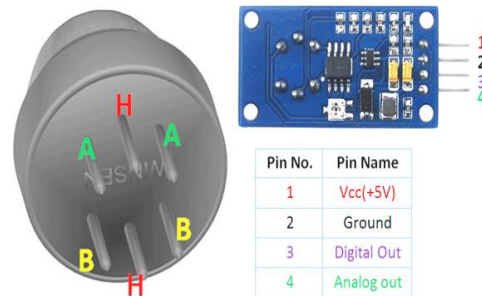
MOS telah banyak digunakan dan diteliti dalam mendeteksi gas. Mereka adalah perangkat semikuantitatif dan sensitif *broadband* yang bereaksi terhadap banyak gas dan tidak dapat membedakannya. Dengan mengkalibrasi resistansi MOS terhadap gas target spesifik dalam kondisi tertentu atau dengan membangun susunan sensor dengan bahan MOS yang berbeda untuk analisis pengenalan pola dapat meningkatkan selektivitasnya (Saruhan *et al.*, 2021).

2.2.4 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.

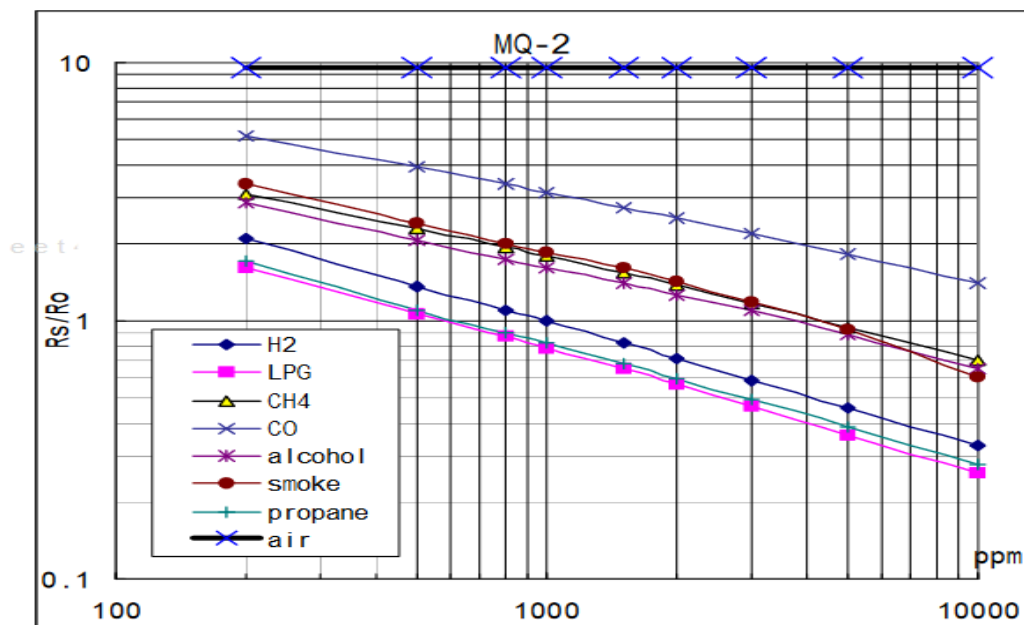
2.2.4.1 Sensor MQ-2

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 ESP32. Karakteristik kepekaan sensor MQ-2 terhadap gas yang diukur dipengaruhi oleh tempat, keadaan sekitar yang dilakukan kepekaan sensor dapat dilihat pada *data sheet* yang tersedia sehingga dapat langsung digunakan. Berikut model sensor gas MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135 ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Modul Sensor MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135 (Datasheet, 2017)

Pada **Gambar 2.7** menunjukkan informasi terkait *datasheet* dan pin masukan serta pin keluaran yang digunakan pada MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135. Sensor Gas MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135 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 Sensor MQ-2 (Datasheet, 2017a)

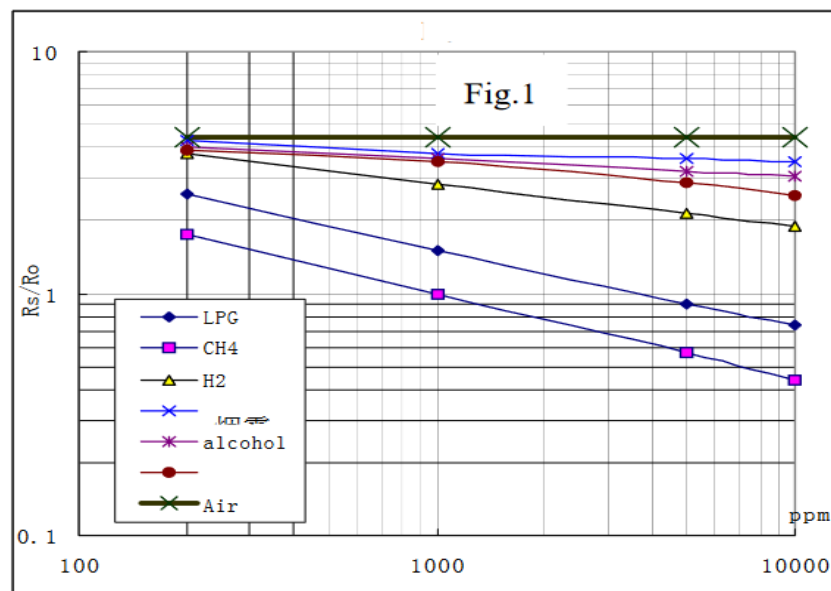
Gambar 2.8 menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-2 untuk beberapa gas. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk

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, 2017a)

2.2.4.2 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 Sensor MQ-4 (Datasheet, 2017b)

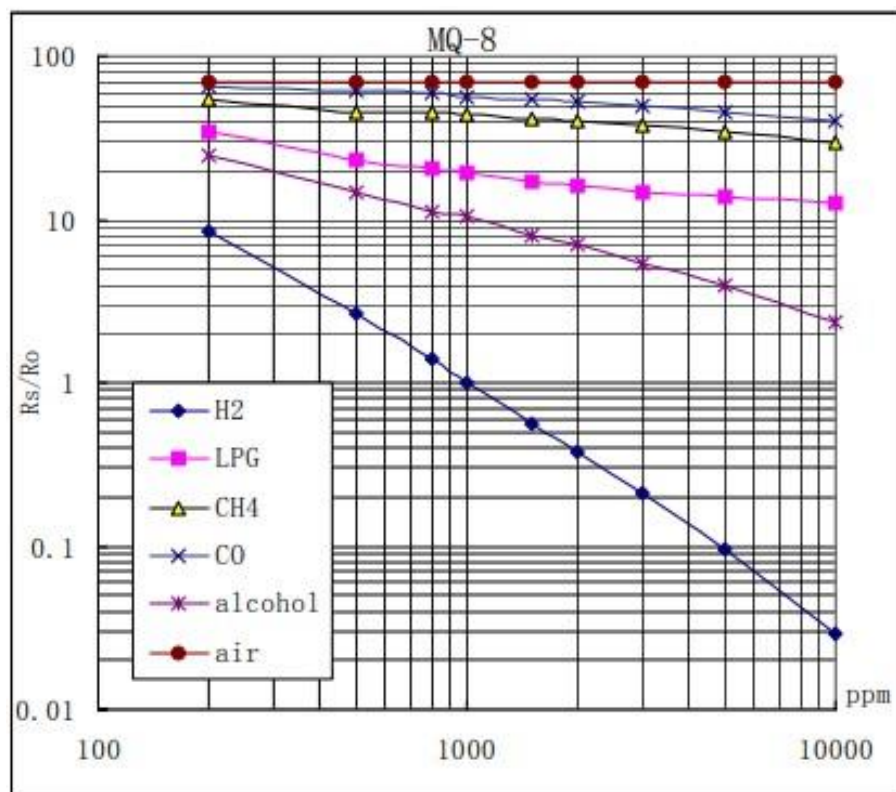
Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-4 untuk beberapa gas. Grafik diatas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk

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, 2017b)

2.2.4.3 Sensor MQ-8

Sensor MQ-8 adalah sensor gas yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas hidrogen (H_2) dan sensitivitas yang lebih rendah terhadap alkohol, dan LPG. Modul sensor MQ-8 ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

Sensor Gas MQ-8 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 2.10**.



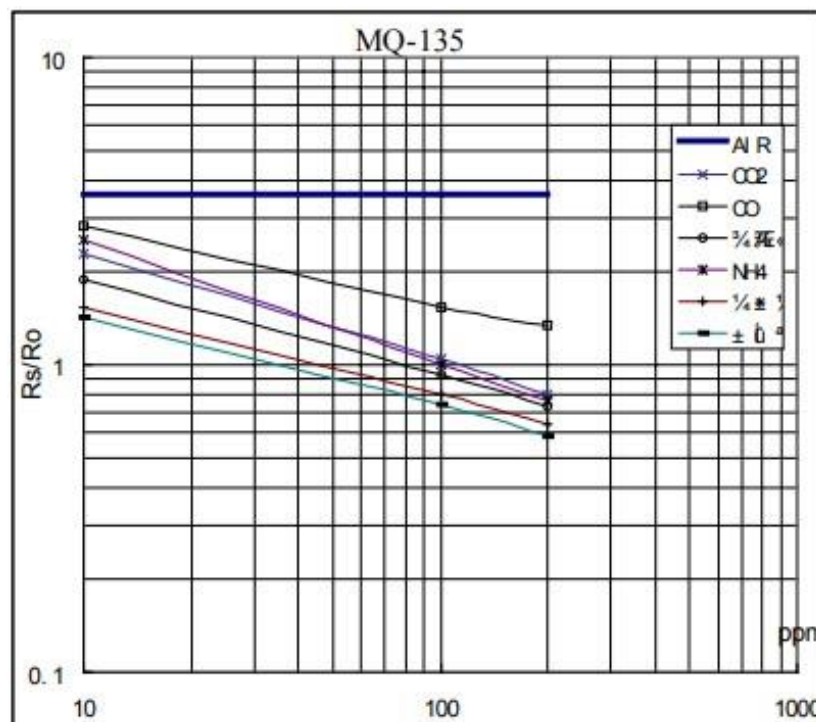
Gambar 2.10 Grafik Sensitivitas Sensor MQ-8 (Datasheet, 2017c)

Gambar 2.10 menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-8 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, 2017c).

2.2.4.4 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang dapat mendeteksi beberapa jenis gas berbahaya seperti amonia (NH_3), sulfur (S), benzene (C_6H_6), CO_2 , dan asap. Modul sensor MQ-8 ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

Sensor Gas MQ-135 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 2.11**.

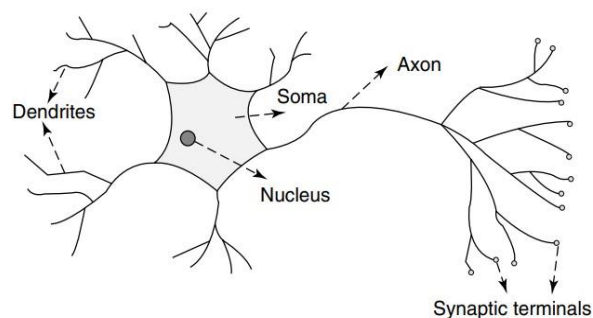


Gambar 2.11 Grafik Sensitivitas Sensor MQ-135 (Datasheet, 2017d)

Gambar 2.11 menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-135 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, 2017d).

2.2.5 Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

JST telah dikembangkan sebagai generalisasi model matematika dari sistem saraf biologis. Gelombang minat pertama pada jaringan saraf muncul setelah identifikasi neuron yang disederhanakan. Elemen pemrosesan dasar jaringan saraf disebut neuron buatan, atau hanya *neuron* atau *node*. Struktur *neuron* untuk mamalia pada ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.12 Struktur *Neuron* Mamalia (Abraham, 2005)

Dalam model matematika neuron yang disederhanakan, efek sinapsis diwakili oleh bobot koneksi yang memodulasi efek masukan sinyal yang relevan, dan karakteristik *non-linier* yang ditunjukkan oleh neuron yang diwakili oleh fungsi *transfer*. *Impuls neuron* kemudian dihitung sebagai penjumlahan tertimbang dari masukan sinyal, diubah oleh fungsi transfer. Kemampuan belajar dari neuron buatan dicapai dengan menyesuaikan bobot sesuai dengan algoritma pembelajaran yang dipilih (Abraham, 2005).

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

1. Pendekatan 1

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

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

2. Pendekatan 2

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

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

3. Pendekatan 3

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

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

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

1. Akurasi

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

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

2. Sensitivitas

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

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

3. Spesifitas

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

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

5. Prediksi Negatif

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

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

Keterangan:

AC = Akurasi

SN = Sensitivitas

SP = Spesifitas

PR = Presisi

PN = Prediksi Negatif

TP = Jumlah prediksi yang benar dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji

TN = Jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji

FP = Jumlah prediksi yang bernilai benar dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji

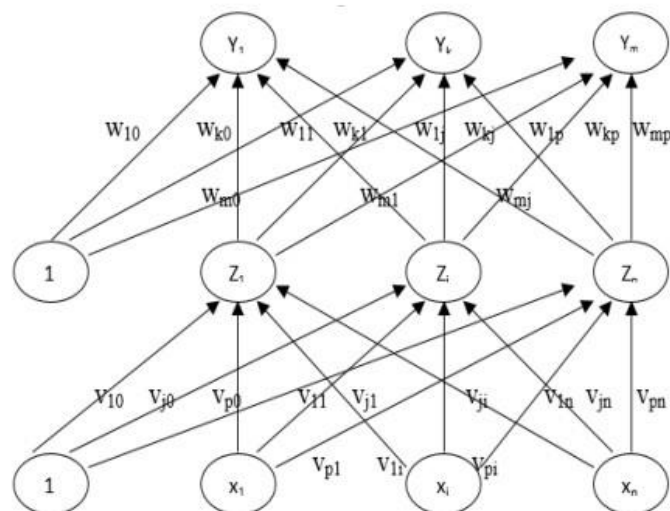
FN = Jumlah prediksi yang bernilai salah dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji

2.2.6 Metode *Backpropagation*

Salah satu model JST yang paling umum digunakan adalah jaringan propagasi balik yang menggunakan algoritma pembelajaran *backpropagation*. Algoritma *backpropagation* adalah salah satu algoritma terkenal di jaringan saraf. Pengenalan

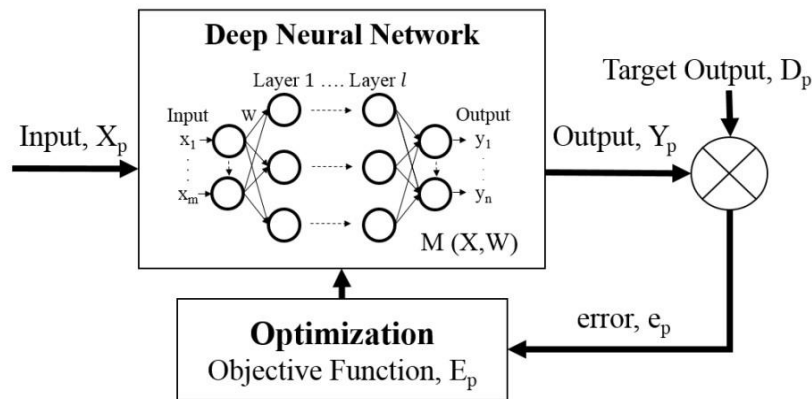
algoritma *backpropagation* mengatasi kelemahan algoritma NN sebelumnya pada tahun 1970-an di mana perceptron *single-layer* gagal memecahkan masalah XOR sederhana. Jaringan saraf *backpropagation* pada dasarnya adalah jaringan elemen pemrosesan sederhana yang bekerja sama untuk menghasilkan keluaran yang kompleks. Elemen atau simpul ini diatur ke dalam lapisan yang berbeda: masukan, tengah, dan keluaran. Keluaran dari jaringan saraf *backpropagation* dihitung menggunakan prosedur yang dikenal sebagai *feedforward* (Shihab, 2006).

Backpropagation adalah sebuah metode sistematika untuk pelatihan *multi-layer* JST. Jaringan *Backpropagation* merupakan salah satu algoritma yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang rumit. Algoritma ini juga dipakai pada aplikasi pengaturan karena proses pelatihannya didasarkan pada hubungan yang sederhana.



Gambar 2.8 Arsitektur *Backpropagation* (Sudarsono, 2016)

Gambar 2.8 memperlihatkan arsitektur *backpropagation* terdiri dari n buah masukan ditambah sebuah bias, sebuah layer tersembunyi yang terdiri dari p unit ditambah sebuah bias, serta m buah unit keluaran. V_{oj} dan W_{ok} masing-masing adalah bias untuk unit tersembunyi ke- j dan untuk keluaran ke- k . Bias V_{oj} dan W_{ok} berperilaku seperti bobot dimana keluaran bias ini selalu sama dengan 1 (Sudarsono, 2016).



Gambar 2.9 Blok Diagram JST (Tan & Lim, 2019)

Gambar 2.9 menjelaskan teknik pengoptimalan menggabungkan langkah *backpropagation*, di mana kesalahan diukur dari keluaran yang ditargetkan dan dihitung. Optimasi dalam konteks jaringan syaraf adalah minimalisasi fungsi tujuan, E_p menuju solusi, W^* untuk nilai *error* yang minimal. Persamaan pembaruan iteratif dapat ditulis seperti pada **Persamaan (2.9)**.

$$W_{k+1} = W_k + \alpha_k p_k \quad (2.9)$$

W_{k+1} adalah matriks bobot yang diperbarui, k mewakili iterasi, α_k adalah panjang langkah dan p_k adalah arah langkah. Teknik pengoptimalan yang paling umum digunakan dalam JST adalah metode *gradient descent*. Ini adalah metode turunan orde pertama. Turunan gradien menggunakan gradien negatif untuk menyebar melalui permukaan kesalahan. Jadi, misalkan panjang langkah, α_k adalah laju pembelajaran, η dan arah langkah, p_k adalah gradien negatif, $-\frac{\partial E}{\partial W} = -\nabla E$. Persamaan pembaruan dapat ditulis seperti pada **Persamaan (2.10)**.

$$W_{k+1} = W_k - \eta \frac{\partial E}{\partial W} \quad (2.10)$$

Performa penurunan gradien sangat dipengaruhi oleh pilihan laju pembelajaran, η . η yang terlalu besar menyebabkan perubahan drastis pada setiap iterasi dan seringkali gagal menemukan titik minimum, W^* . Di sisi lain, yang terlalu kecil membutuhkan perubahan yang terlalu kecil juga pada setiap iterasi dan akan membutuhkan lebih banyak waktu pelatihan untuk mencapai titik minimum. Oleh karena itu, merupakan praktik umum untuk menguji beberapa uji η untuk penyetelan *hyperparameter*. Diketahui juga bahwa penurunan gradien normal tidak

bekerja dengan baik pada permukaan kesalahan pada kelengkungan patologis dengan banyak dataran tinggi dan titik pelana. Metode orde kedua dengan informasi kelengkungan lokal mampu memberikan lintasan yang lebih baik melintasi permukaan kesalahan pegunungan yang biasa terlihat di JST (Tan & Lim, 2019).

2.2.7 *Software Matlab*

Matrix laboratory (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. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan *Mathworks, Inc.* yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* utamanya untuk fungsi-fungsi dasar matlab. matlab telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya.

Matlab berisi *toolbox* yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus . Matlab bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Ada beberapa macam window yang tersedia dalam matlab, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Command window/editor* merupakan *window* yang dibuka pertama kali setiap kali matlab dijalankan pada *window* di atas dapat dilakukan akses-akses ke *command* matlab dengan cara mengetikkan barisan-barisan ekspresi matlab, seperti mengakses *help window* dan lain-lainnya. Jika perintah-perintah yang sudah diketikkan dan hasil yang ditampilkan pada layar *command window* akan disimpan maka dapat dilakukan dengan menggunakan *command diary*. *Command windows* juga digunakan untuk memanggil *tools* matlab seperti *editor*, *debugger* atau fungsi. *Command window* adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variable, menjalankan proses-proses, serta melihat isi variable.

- b. *Current directory* menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab. Kita dapat mengganti direktori ini sesuai dengan tempat direktori kerja yang diinginkan. *Default* dari alamat direktori berada dalam *folder works* tempat *program files* matlab berada.
- c. *Command history* berfungsi untuk menyimpan perintah-perintah apa saja yang sebelumnya dilakukan oleh pengguna terhadap matlab.
- d. *Workspace* berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian matlab. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka *user* dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan *double* klik pada variabel tersebut. Matlab secara otomatis akan menampilkan *window "array editor"* yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih *user* (Cahyono, 2013).

2.2.8 *Principal Component Analysis (PCA)*

Principal component analysis (PCA) adalah teknik statistik yang secara linear mengubah kumpulan variabel asli menjadi kumpulan variabel tidak terkait yang lebih kecil yang dapat mewakili data dari kumpulan variabel asli. Variabel berkorelasi satu sama lain, tetapi tidak tergantung pada subset lain, yang merupakan kombinasi dari variabel faktor. Faktor adalah mereka yang mencerminkan proses yang mendasari yang memiliki korelasi antara variabel. Tujuan PCA adalah untuk menjelaskan subset variasi dalam sekumpulan variabel yang diamati berdasarkan beberapa dimensi. Berubah dari banyak variabel menjadi sedikit variabel. Tujuan khusus PCA adalah:

1. Merangkum pola korelasi antara variabel yang diamati,
2. Mengurangi sejumlah besar variabel menjadi angka faktor kecil,
3. Memberikan definisi fungsional (persamaan regresi) dari dimensi utama penggunaan variabel yang diamati, dan
4. Menguji teori yang mendasari (Umar, 2009).

PCA mengambil sejumlah besar data dan mengidentifikasi basis baru yang optimal untuk mengekspresikan kembali data. Ini mencerminkan tujuan umum dari metode PCA, yaitu memperoleh basis lain yang merupakan kombinasi linier dari basis asli dan yang mengekspresikan ulang data secara optimal. Berikut perangkaian

masalahnya. Asumsikan mulai dengan kumpulan data yang direpresentasikan dalam matriks $m \times n$, X dengan n kolom adalah sampel misalnya observasi dan m baris adalah variabel. Lalu mengubah matriks ini secara linear, X menjadi matriks lain, Y , juga berdimensi $m \times n$, sehingga untuk beberapa matriks $m \times m$, P diambil dari **Persamaan (2.11)**.

$$Y = PX \quad (2.11)$$

Persamaan ini merupakan perubahan mendasar dengan menganggap garis P sebagai vektor garis p_1, p_2, \dots, p_m dan kolom X menjadi vektor kolom x_1, x_2, \dots, x_n , maka dapat diartikan pada **Persamaan (2.12)**.

$$PX = (Px_1, Px_2, \dots, Px_n) = \begin{pmatrix} p_1 \cdot x_1 & p_1 \cdot x_2 & \dots & p_1 \cdot x_n \\ p_2 \cdot x_1 & p_2 \cdot x_2 & \dots & p_2 \cdot x_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_m \cdot x_1 & p_m \cdot x_2 & \dots & p_m \cdot x_n \end{pmatrix} = Y \quad (2.12)$$

$p_i, x_j \in R^m$, dan p_i, x_j hanya perkalian titik (*dot product*) Euclidean standar. Ini memberitahu bahwa data asli, X sedang diproyeksikan ke kolom P . Jadi, baris P , $\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ adalah basis baru untuk merepresentasikan kolom dari X . Baris dari P nantinya akan menjadi arah komponen utama. Perlu mengatasi masalah seperti apa seharusnya basis baru ini, memang apa cara terbaik untuk mengekspresikan kembali data dalam X , yaitu harus mendefinisikan independensi antara komponen utama dalam basis baru. PCA mendefinisikan independensi dengan mempertimbangkan varian data pada basis aslinya. Ini berusaha untuk mendekorelasi data asli dengan menemukan arah di mana varian dimaksimalkan dan kemudian menggunakan arah ini untuk menentukan basis baru. Definisi varian dari variabel acak, Z dengan rata-rata, μ seperti pada **Persamaan (2.13)**.

$$\sigma_Z^2 = E[(Z - \mu)^2] \quad (2.13)$$

Vektor n pengukuran diskrit dengan rata-rata μ_r . Dengan mengurangi rata-rata dari masing-masing pengukuran, maka diperoleh himpunan pengukuran yang diterjemahkan $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, yang memiliki rata-rata nol. Dengan demikian, varian dari pengukuran diberikan oleh relasi yang diberikan pada **Persamaan (2.14)**.

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{n} r r^T \quad (2.14)$$

Vektor kedua berdimensi n, s , sekali lagi dengan rata-rata nol, maka dapat menggeneralisasi ide ini untuk mendapatkan kovarians r dan s . Kovarian dapat

dianggap sebagai ukuran seberapa banyak dua variabel berubah secara bersamaan. Dengan demikian, varians adalah kasus kovarians khusus, ketika kedua variabelnya sama. Memang benar untuk membagi dengan faktor $n - 1$ sebagai ganti n , sebuah fakta yang tidak akan kita benarkan di sini, tetapi dibahas pada **Persamaan (2.15)**.

$$\sigma_Z^2 = \frac{1}{n-1} r s^T \quad (2.15)$$

Sekarang menggeneralisasi ide ini untuk mempertimbangkan matriks data $m \times n$ kita, X . m adalah jumlah variabel, dan n adalah jumlah sampel. Oleh karena itu, dengan memikirkan matriks ini, X dalam vektor baris m , masing-masing dengan panjang n pada **Persamaan (2.16)**.

$$X = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \cdots & x_{m,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \in R^{m \times n}, \quad x_i^T \in R^n \quad (2.16)$$

Dengan memiliki vektor baris untuk setiap variabel, masing-masing vektor ini berisi semua sampel untuk variabel tertentu. Jadi misalnya, x_i adalah vektor dari n sampel untuk variabel i^{th} . Oleh karena itu, mempertimbangkan produk matriks pada **Persamaan (2.17)**.

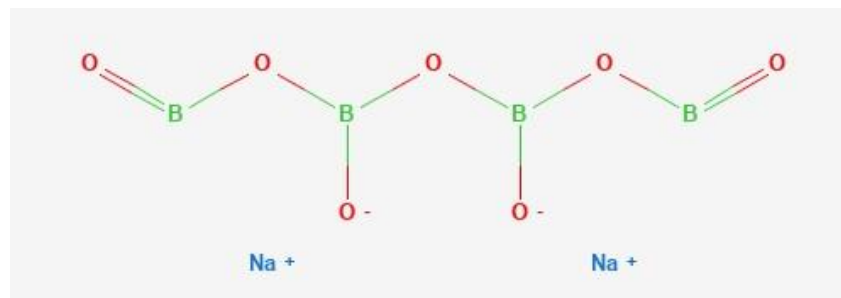
$$CX = \frac{1}{n-1} X X^T = \frac{1}{n-1} \begin{pmatrix} x_1 \cdot x_1^T & x_1 \cdot x_2^T & \cdots & x_1 \cdot x_m^T \\ x_2 \cdot x_1^T & x_2 \cdot x_2^T & \cdots & x_2 \cdot x_m^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m \cdot x_1^T & x_m \cdot x_2^T & \cdots & x_m \cdot x_m^T \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Dapat diperhatikan entri matriks ini, bahwa telah menghitung semua kemungkinan pasangan kovarian antara m variabel. Memang, pada entri diagonal, memiliki varian dan pada entri *off-diagonal*, memiliki kovarian. Oleh karena itu, matriks ini dikenal dengan nama matriks kovarian (Richardson, 2009).

2.2.9 Boraks

Boraks adalah senyawa kimia yang disebut natrium tetraborat ($(\text{Na}_2\text{B}_4)\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) yang berbentuk kristal lunak dan berubah menjadi natrium hidroksida (NaOH) dan asam borat (H_3BO_3) ketika dilarutkan dalam air. Boraks adalah basa lemah dengan pH 9,15 hingga 9,20. Boraks larut dalam air dingin (47,1 g/l pada 20 °C), kelarutannya meningkat tajam dalam air panas, tetapi tidak larut dalam asam dan etanol (Nurisman *et al.*, 2020).

Komposisi dan bentuk asam borat mengandung 99,0% sampai 100% H_3BO_3 . Berat molekulnya adalah 61,83 dan B=17,50%; H = 4,88%; O = 77,62% berbentuk transparan, kristal, bubuk kristal atau butiran putih, tidak berwarna dan tidak berbau dan sedikit manis (Cahyadi, 2012). Struktur kimia dari natrium tetraborat ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Struktur Natrium Tetraborat (*Information, 2023*)

Boraks tidak dimetabolisme di dalam tubuh karena membutuhkan energi yang besar (523 kJ/mol) untuk memutuskan ikatan antara oksigen dan boron. Boraks dalam bentuk asam borat tidak terurai dan terdistribusi di semua jaringan. Lebih dari 90% boron diekskresikan dalam urin dalam bentuk yang tidak dapat melalui proses metabolisme. Waktu paruh senyawa boraks kimia sekitar 20 jam, tetapi dalam kasus di mana ia digunakan dalam jumlah besar, waktu eliminasi senyawa boraks adalah bifasik, yaitu 50% dalam 12 jam dan 50% sisanya diekskresikan dalam waktu 1-3 minggu. Boraks diekskresikan dalam urin, boraks juga diekskresikan dalam jumlah kecil dalam air liur, keringat, dan feses. Boraks dan sejenisnya merupakan pestisida turunan elemen boron. Boron jarang sekali digunakan dalam bentuk tunggal, jenis-jenisnya ditemukan dengan bentuk kombinasi dengan elemen-elemen lain, umumnya dikombinasikan dengan asam borat atau boraks. Tidak seperti beberapa pestisida dengan beberapa komponen sintetik, boraks dan beberapa pestisida secara alami merupakan campuran.

Efek jangka panjang dari penggunaan boraks dapat menyebabkan merah pada kulit, gagal ginjal, iritasi pada mata, iritasi pada saluran respirasi, mengganggu kesuburan kandungan dan janin. Dosis yang dapat menyebabkan kematian atau biasa disebut dengan dosis letal pada orang dewasa adalah sebanyak 10-25 gram, sedangkan pada anak-anak adalah sebanyak 5-6 gram (Muharrami, 2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret 2023 sampai Oktober 2023. Penelitian ini memiliki kegiatan terdiri dari perancangan dan pembuatan alat, pengujian dan kalibrasi sensor, pemograman JST, pelatihan JST, pengambilan data, dan analisis data yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Rencana Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Program Kerja	Bulan				
		Maret	Mei	Juli	September	Oktober
1.	Perancangan Alat	■				
2.	Kalibrasi Sensor		■			
3.	Perangkaian Alat		■	■		
4.	Pelatihan JST			■	■	
5.	Pengambilan Data				■	
6.	Analisis Hasil					■

Program kerja penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium 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 Bahan-Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas sampel. Sensor gas berdasarkan *datasheet* yang digunakan untuk menganalisis sampel ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Jenis Sensor Gas (Viciano-Tudela, *et al.*, 2023)

No	Nama	Gas yang dideteksi
1.	MQ-2	Mendeteksi metana, alkohol, dan butana
2.	MQ-4	Mendeteksi metana
3.	MQ-8	Mendeteksi hidrogen
4.	MQ-135	Mendeteksi CO, CO ₂ , benzena, sulfida, dan ammonia

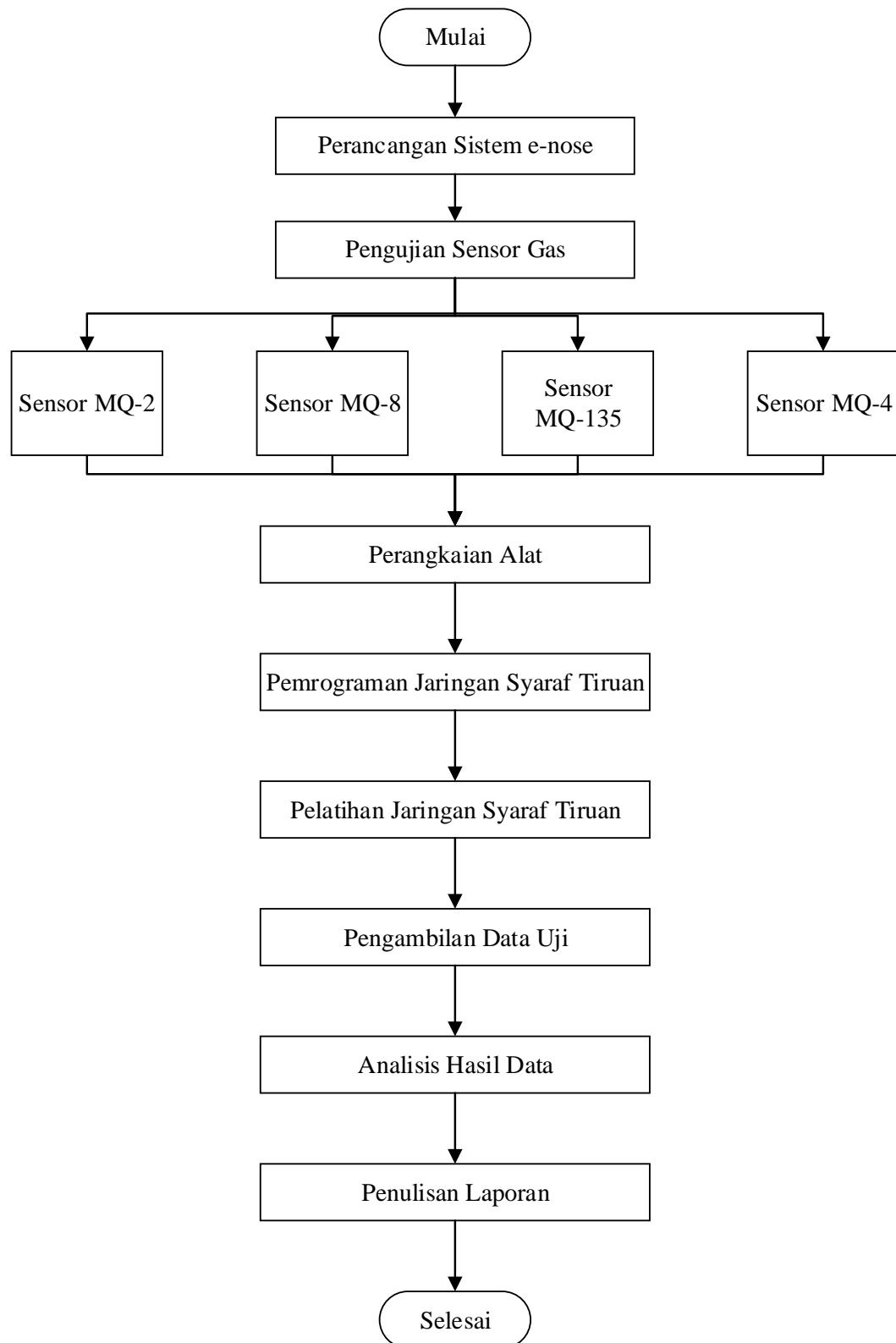
ESP32 WROOM-32 mikrokontroler sebagai pengendali keseluruhan sistem, Selang kecil berdiameter 0.5 cm digunakan untuk mengalirkan gas yang ingin dianalisis, Pompa 6-12 V DC digunakan untuk membuang gas yang ada di *chamber* setelah selesai melakukan analisis, *chamber* digunakan untuk mengalirkan gas yang ingin dianalisis, LCD 12C 20x4 digunakan untuk menampilkan hasil analisis gas yang dimasukkan kedalam *chamber*, *Power Supply* 5V/12V digunakan sebagai sumber tegangan, dan *Printed Circuit Board* (PCB) digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen elektronik yang terdapat pada semua bahan.

3.2.2 Alat- Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu laptop yang didalamnya terdapat *Software* Matlab 2020a untuk komputasi, mengolah dan menganalisis karakteristik gas dari boraks dan merancang JST untuk mengidentifikasi kandungan boraks, multimeter untuk mengukur tegangan, arus serta hambatan pada rangkaian, *Proteus* membuat skema rangkaian *e-nose*, *AutoCad* untuk membuat desain 3 dimensi *e-nose*, dan solder untuk memasang komponen pada rangkaian.

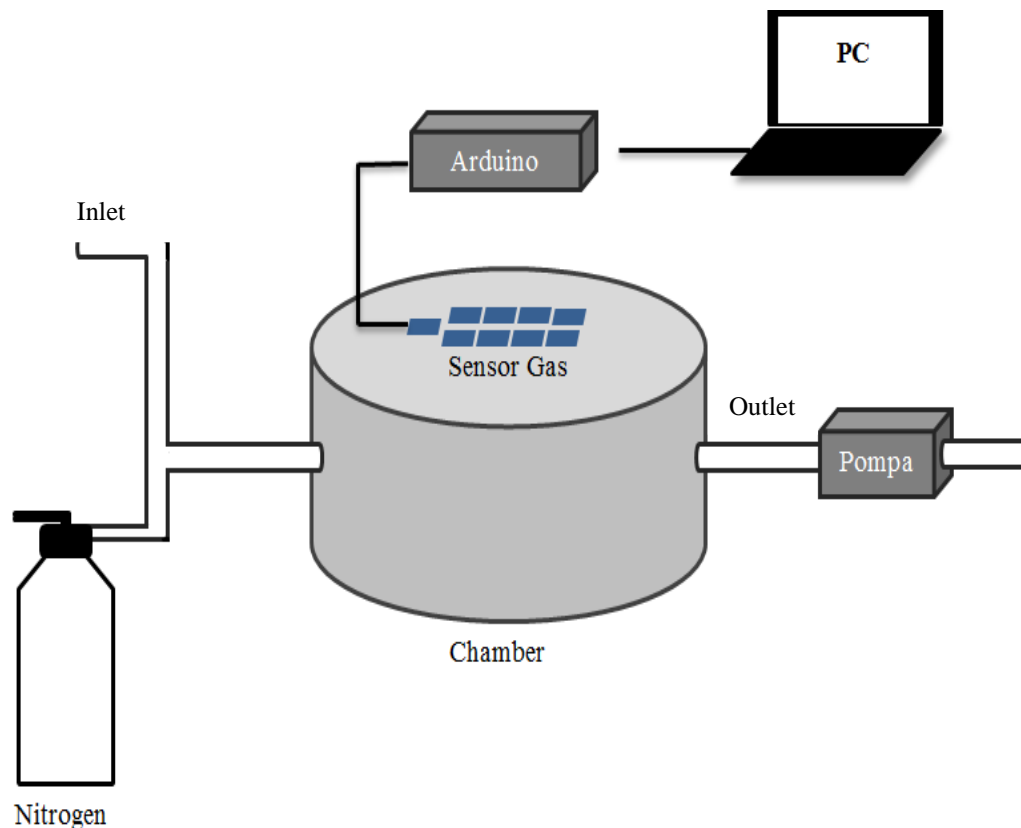
3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan secara bertahap dimulai dengan membuat rancangan 3 dimensi menggunakan *Software Autocad*, pengujian dan kalibrasi sensor, perangkaian alat, pemograman dan pelatihan JST, pengambilan data, dan analisis hasil. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahap perancangan sistem dilakukan untuk merancang perangkat *hardware e-nose*. Sensor gas yang digunakan terdiri dari sensor MQ-2, MQ-4, MQ-6, MQ-7, MQ-9, 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 Alat *E-nose*

Tahap pengujian sistem dilakukan dengan memberikan larutan dengan konsentrasi ppm tertentu pada sensor gas yang digunakan satu per satu. Larutan tersebut diberikan konsentrasi terkecil yang mampu dideteksi oleh masing-masing sensor pada *chamber*. Untuk menentukan konsentrasi larutan induk sampel, dilakukan perhitungan seperti pada **Persamaan (3.1)**.

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (3.1)$$

Dengan ppm adalah konsentrasi larutan, mg adalah massa larutan, L adalah volume pelarut, lalu dilakukan pengenceran larutan induk sampel untuk menentukan larutan yang diperlukan menggunakan **Persamaan (3.2)**.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (3.2)$$

dengan:

C_1 = ppm larutan sebelum pengenceran

V_1 = volume larutan sebelum pengenceran

C_2 = ppm larutan sesudah pengenceran

V_2 = volume larutan sesudah pengenceran

Tujuan dari tahap pengujian ini adalah untuk mengetahui sensitivitas sensor terhadap gas yang akan dideteksi (Rusman *et al.* 2018). Data latih menggunakan sampel akan ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Data latih sampel

No	Gas Sampel (ppm)	Latih Ke	Sensor (V)			
			MQ-2	MQ-8	MQ-135	MQ-4
1	100	1				
		2				
		3				
		...				
		20				
2	200	1				
		2				
		3				
		...				
		20				
3	300	1				
		2				
		3				
		...				
		20				

Tahap pemrograman dilakukan dengan membuat JST dengan menggunakan *software* Matlab R2020a. JST ini yang akan digunakan untuk kadar boraks dari konsentrasi 100 ppm-300 ppm.

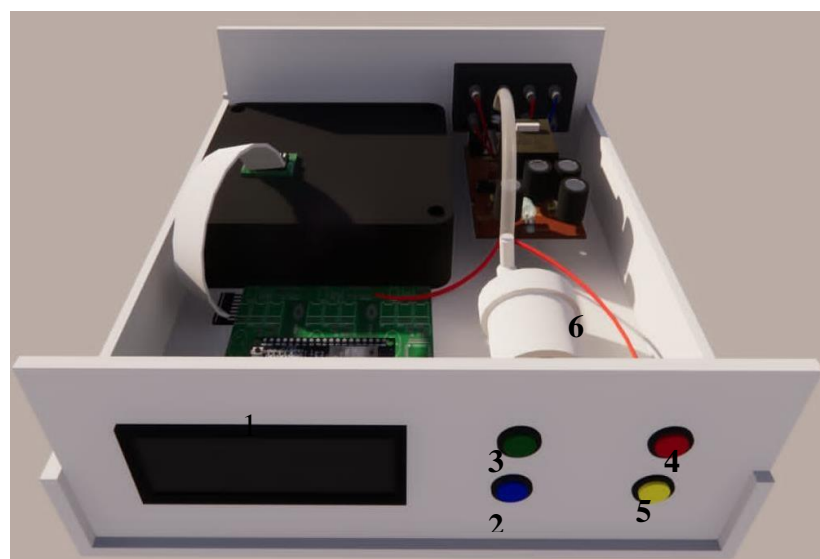
Tahap pelatihan JST akan dilakukan dengan memberikan gas yang dihasilkan dari kandungan boraks dari berbagai konsentrasi pada alat. Sehingga JST akan dilatih untuk mengenali perbedaannya.

Tahap pengambilan data profil gas yang ada pada boraks akan dilakukan dengan

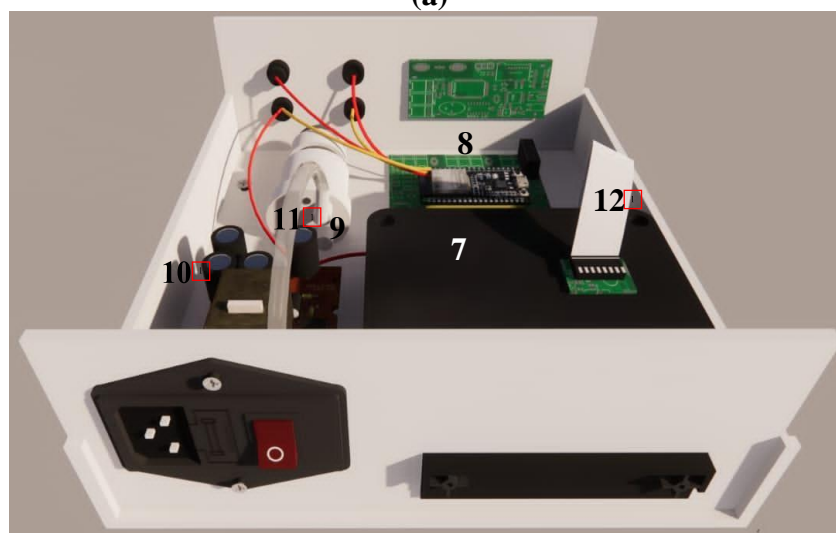
mengambil gas yang dihasilkan dari larutan boraks dari konsentrasi 100 ppm-300 ppm. Data yang diperoleh akan dianalisis dan dibahas menggunakan metode *backpropagation*.

3.3.1 Perancangan Alat

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



(a)



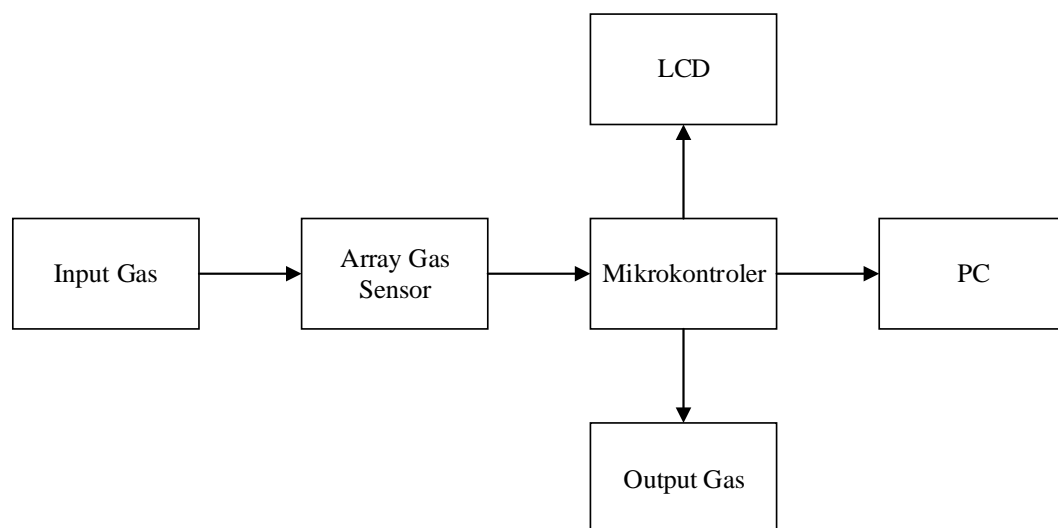
(b)

Gambar 3.3 Desain 3d *E-nose* (a) Bagian Depan dan (b) Belakang

Keterangan:

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 1. LCD I2C | 7. Chamber |
| 2. Tombol Reset | 8. ESP32 |
| 3. Tombol <i>Start</i> | 9. Pipa L |
| 4. Tombol <i>Stop</i> | 10. <i>Power Supply</i> 12/5V |
| 5. Tombol Pompa | 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 arduino dengan PC. Data hasil deteksi sensor tersebut akan dianalisis menggunakan JST. Disediakan pada beberapa tombol untuk mengoperasikan *e-nose*, tombol power untuk menghidupkan *e-nose*, tombol *start* untuk memulai melakukan analisis gas, tombol pompa untuk mengaktifkan pompa dan menyedot gas yang ada di dalam *chamber*, dan tombol *switch* sensor untuk menentukan sensor yang mana yang ingin digunakan. Berikut ini adalah diagram blok rancangan alat *e-nose* yang akan digunakan untuk mendeteksi kandungan gas boraks pada produk makanan yang diperlihatkan pada **Gambar 3.4**.



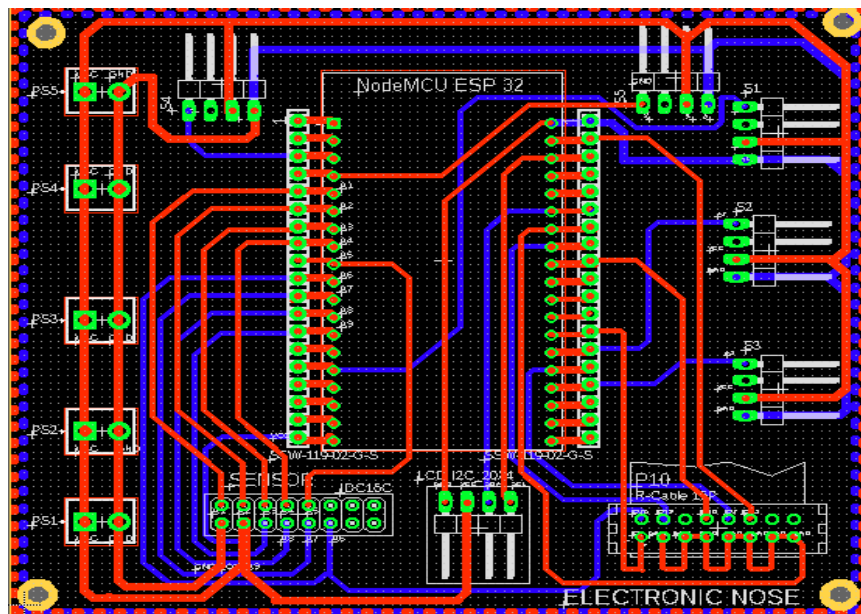
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem *E-nose*

Masukkan berupa gas yang dihasilkan dari larutan boraks yang akan dideteksi oleh sensor gas. Sensor gas yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah MQ-2, MQ-8, MQ-135, dan MQ-4. Perubahan tegangan yang dihasilkan oleh sensor diterima oleh Esp32 dan diubah menjadi data berbentuk *array*. *Array* data yang diterima oleh

Esp32 dikirim ke PC untuk dianalisis menggunakan JST pada *software* Matlab 20220a. Esp32 juga berfungsi mengendalikan pompa yang akan membuang gas masuk setelah proses analisis selesai. Setelah analisis selesai, alat akan menampilkan hasil pada tampilan LCD.

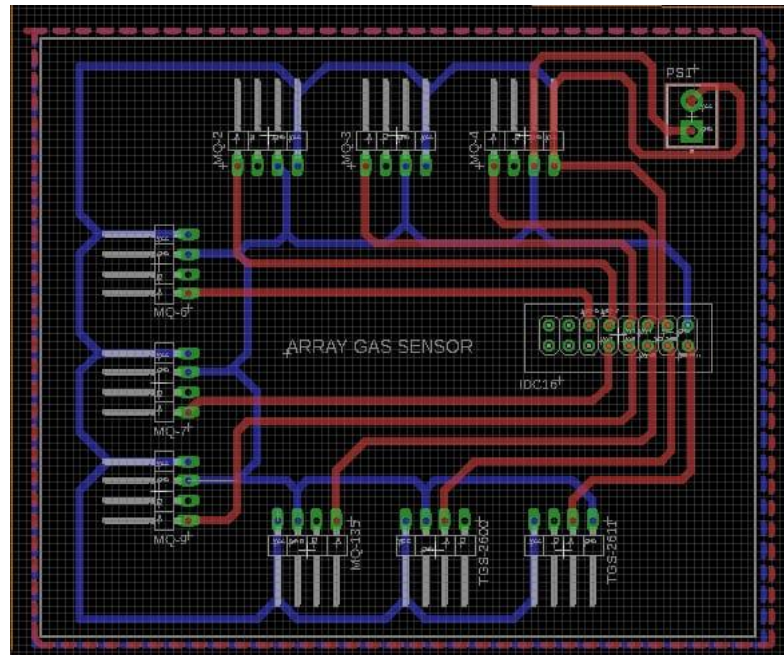
3.3.2 Array Gas Sensor

Pada penelitian ini sensor yang digunakan sistem keseluruhan adalah sensor MQ-3, MQ-4, MQ-6, MQ-7, MQ-9, MQ-135, TGS-2600, dan TGS-2611 akan digunakan untuk mendeteksi gas pada larutan boraks. Rangkaian sensor gas *array* dihubungkan ke power dan ESP32 dapat dibuat dalam rangkaian PCB ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Rangkaian PCB Kontroler Sensor Array *E-nose*

Pin out masing-masing sensor dihubungkan ke pin IO Esp 32 WROOM-32. Kemudian pin Vcc pada sensor dihubungkan dengan tegangan 5 Volt. Sensor gas yang digunakan pada penelitian ini adalah MQ-2, MQ-8, MQ-135 dan MQ-4. Sensor MQ-2, MQ-4 digunakan untuk mendeteksi alkohol dan metana. Sensor MQ-8 dan MQ-135 digunakan untuk mendeteksi gas karbon monoksida dan hidrogen. Susunan sensor gas *array* pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



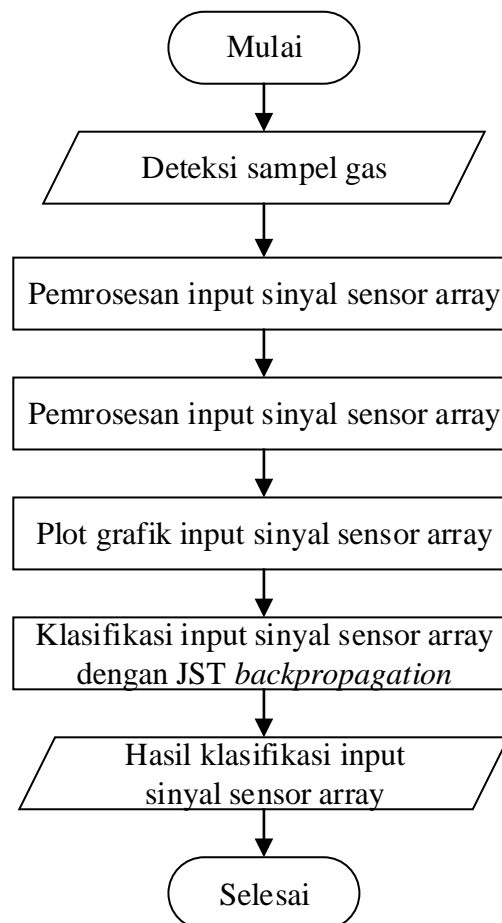
Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Gas Array Penelitian

Sensor gas diletakkan pada tutup *chamber* yang berada di atas. Jika tutup ditegakkan susunan sensor MQ-2 diletakkan pada bagian atas pojok kanan dan di depannya terdapat sensor MQ-135. Sensor dan MQ-8 diletakkan disebelah kiri MQ-4.

Elemen penginderaan sensor yang digunakan 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 keluaran yang sesuai dengan konsentrasi gas. Sensor ini juga dapat mendeteksi gas-gas tersebut pada level ppm. Jenis sensor yang digunakan yaitu MQ-2, MQ-4, MQ-8, dan MQ-135. Struktur sensor gas seri MQ tersusun oleh tabung keramik mikro Al_2O_3 elektroda pemanas. Sensor MQ-2 memiliki sensitivitas tinggi terhadap alkohol, metana dan butana. Sensor MQ-4 memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap gas metana. Sensor MQ-8 memiliki sensitivitas tinggi terhadap hidrogen. Sensor MQ-135 memiliki sensitivitas dan selektivitas tinggi terhadap gas karbon monoksida, benzena, sulfida, dan ammonia.

3.3.3 Perancangan JST

Pada penelitian ini digunakan Matlab R2020a dengan metode *backpropagation* untuk membuat JST yang akan digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis aroma gas yang dihasilkan larutan boraks. Metode *Backpropagation* merupakan metode pembelajaran lanjut yang dikembangkan dari aturan *perceptron*. Metode ini terdiri dari dua tahap, yaitu *feedforward* dan tahap *backpropagation error* yang disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.

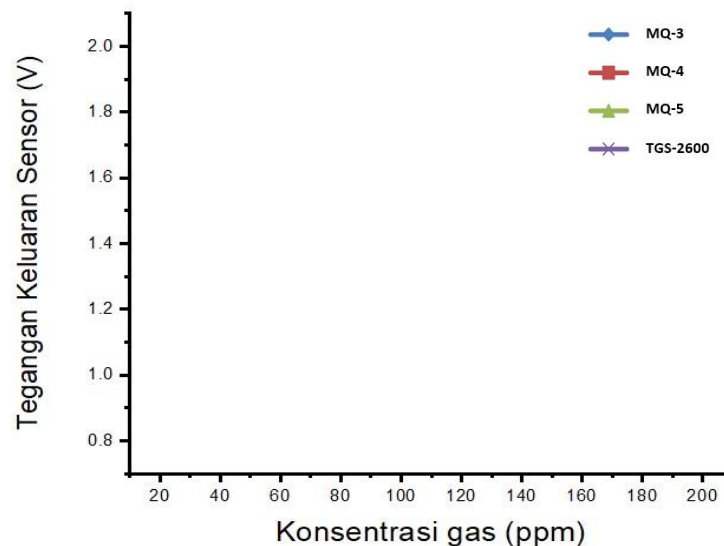


Gambar 3.7 Diagram Alir Perancangan JST

Tahap pendeteksian gas sampel merupakan tahap pendeteksian oleh *array* sensor untuk mendeteksi gas pada sampel boraks yang dimasukkan kedalam *chamber*. Kemudian data hasil pengujian diproses oleh Esp32 lalu dianalisis menggunakan JST *backpropagation*. Sinyal-sinyal yang didapatkan dalam sensor diproses kedalam Esp32 dan dikirimkan ke PC menggunakan komunikasi serial untuk mendeteksi boraks.

Tahap pemrosesan sinyal masukan sensor *array* merupakan proses konversi sinyal-sinyal analog yang dikirim oleh sensor *array* ke arduino kedalam bentuk data-data digital. Konversi analog ke digital menggunakan ADC pada Esp32. 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 Grapichal user interfence* (GUI) sebagai *interference*. Adapun grafik sensor respon *array* ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 Grafik Respon Sensor Array

Tahap klasifikasi sinyal masukan sensor *array* dengan *JST backpropagation* merupakan proses pengklasifikasian sinyal sensor *array* yang didapatkan. Proses ini juga dilakukan untuk melatih JST agar dapat mengenali kandungan boraks dengan konsentrasi (100, 200, 300) 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 aktivasi 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 $n = 4$ dan $n_0 = 3$, jumlah neuron pada lapisan tersembunyi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 4 Jumlah *Node Hidden Layer*

Model	Pendekatan	Jumlah <i>Node Hidden Layer</i>
JST-1	1	$N_h = n = 4$
JST-2	2	$N_h = n_o = 3$
JST-3	3	$N_h = n + n_o = 7$

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 boraks yang konsentrasinya bervariasi dengan benar.

3.3.4 Pengujian dan Analisis Sitem *E-nose*

Pengujian sistem *e-nose* ini dilakukan untuk mengenali profil gas dengan baik dengan JST. Pengujian dari sitem JST, yaitu dengan memberikan gas yang dihasilkan larutan boraks dengan konsentrasi yang berbeda sebagai data latih dan yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini. Berikut ini merupakan tabel data pengujian *e-nose* yang ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Data Uji Sistem *E-nose*

No	Boraks (ppm)	Sampel uji ke	Terdeteksi Sebagai (ppm)
1	100	1	
		2	
		3	
		...	
		15	
2	200	1	
		2	
		3	
		...	
		15	
3	300	1	
		2	
		3	
		...	
		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, spesifitas, presisi, dan nilai prediksi negatif dari setiap model JST yang diperoleh dari hasil pelatihan. Hasil perhitungan data *binary confusion matrix* untuk sampel gas boraks dengan variasi konsentrasi ditunjukkan pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3. 6 Rancang Tabel *Confusion Matrix*

Sampel Hasil Identifikasi			
Sampel	100 ppm	Bukan 100 ppm	Keterangan
100 ppm	TP =	FN =	Sensitivitas =
Bukan 100 ppm	FP =	TN =	Spesifitas =
Keterangan	Presisi =	Prediksi Negatif =	Akurasi =
Sampel	200 ppm	Bukan 200 ppm	Keterangan
200 ppm	TP =	FN =	Sensitivitas =
Bukan 200 ppm	FP =	TN =	Spesifitas =
Keterangan	Presisi =	Prediksi Negatif =	Akurasi =
Sampel	300 ppm	Bukan 300 ppm	Keterangan
300 ppm	TP =	FN =	Sensitivitas =
Bukan 300 ppm	FP =	TN =	Spesifitas =
Keterangan	Presisi =	Prediksi Negatif =	Akurasi =

Adapun perhitungan pengukuran nilai akurasi dan *error* untuk pembuktian analisa data JST terbaik dari *binary confusion matrix* diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (3.2)** dan **Persamaan (3.3)**.

$$Error (\%) = \left| \frac{Y-X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

$$Akurasi (\%) = \left| \frac{Y-X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan Y adalah merupakan nilai referensi/ nilai standar, nilai X_n merupakan nilai parameter ke- n , dan nilai 100% merupakan nilai pengonversian dalam bentuk persen (Pandiangan & Arkundato, 2018).

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 pada larutan boraks dengan variasi konsentrasi berbeda.
2. Rancang bangun sistem *e-nose* berbasis multi sensor menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *backpropagation* telah berhasil membedakan kandungan gas pada larutan boraks dengan variasi konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm dengan *error* pelatihan JST sebesar 5%.
3. Rancang bangun sistem *e-nose* berbasis multi sensor menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *backpropagation* telah berhasil mengenali perbedaan variasi konsentrasi boraks dengan akurasi tertinggi pada 300 ppm sebesar 95,55%.

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 boraks diberbagai variasi konsentrasi.
2. Memberikan perlakuan yang sama untuk proses penginputan gas ke dalam *chamber* untuk setiap masing-masing sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, A., 2005. *Artificial Neural Networks*. Oklahoma. Oklahoma State University.
- Cahyadi, W., 2012. Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan. 2 ed. Kota Padang. Bumi Aksara.
- Cahyono, B., 2013. Penggunaan *Software Matrix Laboratory (MATLAB)* dalam pembelajaran aljabar linier. *Jurnal Phenomenon*, Volume 1, pp. 45-62.
- Datasheet. 2017a. Product Information Technical MQ-2 Gas Sensor. Available at: <http://www.sparkfun.com/datasheet/Sensors/MQ-2.pdf>(Accessed:17March 2023).
- Datasheet. 2017b. Product Information Technical MQ-4 Gas Sensor. Available at: <http://www.sparkfun.com/datasheet/Sensors/MQ-4.pdf>(Accessed:17March 2023).
- Datasheet. 2017c. Product Information Technical MQ-8 Gas Sensor. Available at: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-8.pdf>(Accessed:17March 2023).
- Datasheet. 2017d. Product Information Technical MQ-135 Gas Sensor. Available at: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf> (Accessed:17March 2023).
- Dongare, A. D., Kharde, R. R. & Amit, D. K., 2012. *Introduction to Artificial Neural Network. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, Volume 2, pp. 189-194.
- Fadhlillah, R., 2019. Rancang Bangun Sistem *Electronic Nose* Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation Untuk Mendeteksi Penyakit Diabetes Militus, Skripsi. Universitas Lampung.
- Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S. S., Siadat, M. & Balasubramanian, S., 2009. *Meat Quality Assessment by Electronic Nose. Machine Olfaction Technology*, Volume 9, pp. 6058-6083.
- Information, N. C. f. B., 2023. *PubChem Compound Summary for CID 6432057, CID6432057*, [Online], [Accessed 8 Maret 2023].

- Jauhari, D., Himawan, A. & Dewi, C., 2016. Prediksi Distribusi Air PDAM Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* di PDAM Kota Malang. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK)*, Volume 3, pp. 83-87.
- Karakaya, D., Ulucan, O. & Turkan, M., 2020. *Electronic Nose and Its Applications: A Survey. International Journal of Automation and Computing*, Volume 17, pp. 179-209.
- Keller, P. E., Kangas, L. J., Liden, L. H. & Kouzes, S. H. R. T., 1995. *Electronic Noses And Their Applications. In World congress on neural networks (WCNN)*, Volume 1, pp. 928-931.
- Lintang, C. A., Widodo, T. W. & Lelono, D., 2016. Rancang Bangun *Electronic Nose* untuk Mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar. *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. System)*, Volume 6(2), pp. 129.
- Maier, A., Sharp, A. & Vagapov, Y., 2017. *Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things. Internet Technologies and Applications (ITA)*, Volume 1, pp. 143-148.
- Mazen, F. M. A. & Nashat, A. A., 2019. *Ripeness Classification of Bananas Using an Artificial Neural Network. Arabian Journal For Science and Engineering*, Volume 44, pp. 6901-6910.
- Muharrami, L. K., 2015. Analisis kualitatif kandungan boraks pada krupuk puli di kecamatan kamal. *Jurnal Pena Sains*, Volume 2, pp. 120-124.
- Nagle, H. T., Schiffman, S. S. & Gutierrez-Osuna, R., 1998. *The How and Why of Electronic Noses. IEEE spectrum Journal*, Volume 35, pp. 22-31.
- Nunes, D., 2019. *Metal Oxide Nanostructures for Sensor Applications. Journal of Semiconductor Science and Technology*, Volume 34, p. 043001.
- Nurisman, E., 2020. Pembinaan Dan Edukasi Metode Identifikasi Bahan Kimia Berbahaya Pada Makanan Di Lingkungan Madrasah Aliyah Patra Mandiri. *Jurnal Pengabdian Community*, Volume 2, pp. 45-51.
- Pandiangan, P., Arkundato, A., 2018. Ketidakpastian dan Pengukuran. Jember. Universitas Jember.
- Pickering, P., Tewari, S. & Twanow, C., 2018. *Fierce Electronic : Micralyne Inc.. Available at: <https://www.fierceelectronics.com/power-management/tesla-rattles-investors-and-competitors-over-sic-evs> [Accessed 5 March 2023]*.
- Pratama, E. W. & Kiswantono, A., 2020. *Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime. JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, Volume 7, pp. 1273-1284.

- Rai, I. D. G., W, M. C. & Harianto, 2015. *Electronic Nose Test Unit Untuk Mengidentifikasi Kandungan Boraks Dalam Makanan*. Jurnal Seminar Nasional Tekno Media Online, Volume 3, pp. 3-8.
- Richardson, M., 2009. *Principal component analysis.*, [Online] Available at: <http://people.maths.ox.ac.uk/richardsonm/SignalProcPCA.pdf> [Accessed Rabu Maret 2023].
- Rusman, Rahmayani R. T. I., Mukhlis. 2018. *Kimia Larutan*. Aceh. Universitas Syiah Kuala Press
- Saruhan, B., Fomekong, R. L. & Nahirniak, S., 2021. *Influences of semiconductor metal oxide properties on gas sensing characteristics*. *Journal Of Frontiers in Sensors*, Volume 2, pp. 657931.
- Scott, S. M., James, D. & Ali, Z., 2006. *Data analysis for electronic nose systems*. *Journal Of Microchimica Acta*, Volume 156, pp. 183-207..
- Shihab, K., 2006. *The Input Layer Propagates a Particular Input*. *Journal of Computer Science*, Volume 2, pp. 710-715.
- Squire, L. R., 2009. *ENCYCLOPEDIA OF NEUROSCIENCE*. San Diego. Academic Press.
- Sudarsono, A., 2016. *Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Memprediksi Laju Pertumbuhan Penduduk Menggunakan Metode Backpropagation (Studi Kasus di Kota Bengkulu)*. *Jurnal Media Infotama*, Volume 12, pp. 61-69.
- Sundaram, K. M. & Karthigai, S., 2019. *Determining hidden neurons with variant experiments in multilayer perceptron using machine learning neural network*. *International. Journal of Technology and Exploring Engineering*, Volume 8, pp. 2278-3075.
- Tan, H. H. & Lim, K. H., 2019. *Review of second-order optimization techniques in artificial neural networks backpropagation*. In *IOP conference series: materials science and engineering*, Volume 495, pp. 012003.
- Tan, J. & Xu, J., 2020. *Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination. A review*. *Artificial Intelligence in Agriculture*, Volume 4, pp. 104-115.
- Tian, X.-Y., Cai, Q. & Zhang, Y.-M., 2012. *Rapid Classification of Hairtail Fish and Pork Freshness Using an Electronic Nose Based on the PCA Method*. *Journal of Sensors*, Volume 12, pp. 260-277.
- Umar, H. B., 2009. *Principal Component Analysis (PCA) dan aplikasinya dengan SPSS*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, Volume 3, pp. 97-101.

- Viciano-Tudela, S., Sendra, S., Parra, L., Jimenez, J. M., & Lloret, J. (2023). *Proposal of a Gas Sensor-Based Device for Detecting Adulteration in Essential Oil of Cistus ladanifer*. *Sustainability*, Volume 15(4), pp. 3357.
- Wang, C., 2010. *Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors*. *Sensors*, Volume 10, pp. 2088-2106.
- Wilson, A. D. & Baietto, M., 2009. *Applications and advances in electronic-nose technologies*. *Sensors*. Volume 9, pp. 5099-5148..