

**IDENTIFIKASI KEASLIAN KOPI ROBUSTA LAMPUNG
MENGUNAKAN SISTEM *ELECTRONIC NOSE* JARINGAN SYARAF
TIRUAN DENGAN METODE *BACK PROPAGATION***

(Skripsi)

Oleh

Saadah Mujahidah



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF THE AUTHENTICITY OF LAMPUNG ROBUSTA COFFEE USING ELECTRONIC NOSE SYSTEM OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK WITH BACK PROPAGATION METHOD

By

Saadah Mujahidah

Research on detection of the aroma system for native Lampung robusta coffee with a mixture of rice and corn using an electronic nose (e-nose) consisting of 5 sensors, namely MQ-3, TGS-2602, TGS-2611, TGS-2600, and TGS-822. The purpose of this research is to be able to develop a system based on an Artificial Neural Network (ANN) using the backpropagation method. The hidden layer variations used show that the ANN parameters will be maximized in hidden layers 4 with the same average parameter value of 94% and an error value of 5.3%. Grouping samples with Principal Component Analysis (PCA) has also been able to identify data on coffee sample types.

keyword : *Electronic nose, e-nose, Robusta coffee, back propagation, PCA*

ABSTRAK

IDENTIFIKASI KEASLIAN KOPI ROBUSTA LAMPUNG MENGUNAKAN SISTEM *ELECTRONIC NOSE* JARINGAN SYARAF TIRUAN DENGAN METODE *BACK PROPAGATION*

Oleh

Saadah Mujahidah

Penelitian mengenai sistem deteksi aroma kopi Lampung robusta asli dan campuran beras maupun jagung dengan menggunakan *electronic nose (e-nose)* yang terdiri dari 5 sensor yaitu MQ-3, TGS-2602, TGS-2611, TGS-2600, dan TGS-822. Tujuan penelitian ini adalah mampu mengembangkan sistem berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan metode *backpropagation*. Variasi *hidden layer* yang digunakan menunjukkan bahwa parameter JST akan maksimal pada *hidden layer 4* dengan rata-rata nilai parameter yang sama yaitu sebesar 94% dan *error value* sebesar 5,3%. Pengelompokan sampel dengan *Principal Component Analysis (PCA)* juga telah mampu mengidentifikasi data jenis sampel kopi.

Kata kunci : *Electronic nose, e-nose, kopi robusta, back propagation, PCA*

**IDENTIFIKASI KEASLIAN KOPI ROBUSTA LAMPUNG
MENGUNAKAN SISTEM *ELECTRONIC NOSE* JARINGAN SYARAF
TIRUAN DENGAN METODE *BACK PROPAGATION***

Oleh

SAADAH MUJAHIDAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat 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
BANDARLAMPUNG
2024**

Judul Penelitian : Identifikasi Keaslian Kopi Robusta Lampung Menggunakan Sistem *Electronic Nose* Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Metode *Backpropagation*

Nama Mahasiswa : Saadah Mujahidah

Nomor Pokok Mahasiswa : 1717041018

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 11 Juni 2024

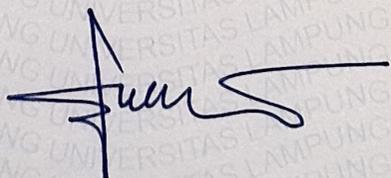


1. Komisi Pembimbing


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


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

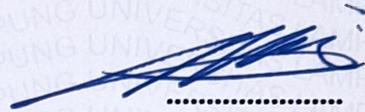
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


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

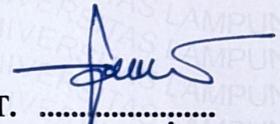
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

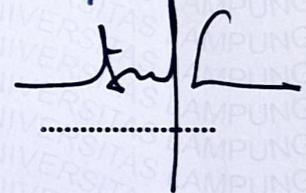
Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2024

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

Bandarlampung, 11 Juni 2024



Saadah Mujahidah

Saadah Mujahidah
NPM. 1717041018

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Saadah Mujahidah. Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada 31 Mei 1999. Penulis merupakan anak kelima dari lima bersaudara dari pasangan Murni Sulaiman (Alm) dan Dra. Beti Yara Des Laila.

Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Dewi Sartika pada 2005, SDN 1 Sukabumi Indah pada 2011, SMPN 29 Bandar Lampung pada 2015, dan SMAN 3 Bandar Lampung pada 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN pada tahun 2017.

Penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi seperti menjadi anggota bidang Sosial dan Masyarakat HIMAFI FMIPA Unila pada tahun 2017. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPET LIPI), Bandung pada tahun 2020 di bagian Smart Sensor, Aktuator, dan Transduser dengan judul laporan “**Analisis Spectrogram Sensor Vibrasi Cantilever Beam Berbasis Piezoelectric Menggunakan Software Matlab**”. Penulis juga melaksanakan Kerja Kuliah Nyata (KKN) di kelurahan Sukabumi Indah, kecamatan Sukabumi, kota Bandar Lampung.

MOTTO

“Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu belajarlah untuk tenang dan sabar.”

(Umar bin Khattab)

“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya menemukanmu.”

(Ali bin Abi Thalib)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohiim...

*Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, skripsi ini
dipersembahkan kepada:*

Kedua Orang Tuaku: Murni Sulaiman (alm) dan Dra. Beti Yara Des Laila
Terimakasih untuk segala doa dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan
putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan ini.

Saudaraku: Faris, Adiyatullah, Atikah, S.Pd., Farah, Amd.Rad., Farhan, dan
Athiya atas kasih sayang, dukungan, doa dan semangat sehingga saya dapat
mencapai semua ini.

Almamater tercinta
Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Identifikasi Keaslian Kopi Robusta Lampung Menggunakan Sistem *Electronic Nose* Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Metode *Back Propagation*”**. 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.

Bandarlampung, 11 Juni 2024

Penulis,

Saadah Mujahidah

UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji bagi Allah Rabb semesta alam 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. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si selaku dekan FMIPA Unila.
2. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, pembimbing kedua, dan pembimbing Akademik yang selalu membimbing, menyemangati, dan memberikan ilmu baru dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing utama yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku penguji utama yang senantiasa mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama kuliah.
6. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Fisika Universitas Lampung yang senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan seminar.
7. Tim *e-nose* dan teman-teman Fisika angkatan 2017 yang selalu memberikan motivasi dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Teman-teman muslimah *care* dan santri AMI yang selalu memberikan doa dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
9. Putri, Ameria, dan Yolan yang selalu memberikan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.

10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas dengan yang lebih baik dan menjadi pemberat amal di akhirat nanti. Aamiin.

Bandar Lampung, Juni 2024

Saadah Mujahidah

DAFTAR ISI

ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
HALAMAN JUDUL	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
UCAPAN TERIMAKASIH	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	1
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1	Penelitian Terkait.....	6
2.2	Teori Dasar.....	10
2.2.1	<i>Electronic nose</i>	10
2.2.2	Kopi.....	11
2.2.3	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	13
2.2.4	<i>Software Matlab</i>	15
2.2.5	Metode <i>Back Propagation</i>	16
2.2.6	Evaluasi Kinerja JST.....	19
III.	METODE PENELITIAN	21
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2	Alat dan Bahan.....	21
3.3	Prosedur Penelitian.....	22
3.4	Pembuatan Jaringan Syaraf Tiruan.....	25
3.5	Pengujian dan Analisis Sistem <i>E-nose</i>	25
IV.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Sistem Kerja JST.....	27
4.2	Metode PCA.....	33
4.3	Analisis Kinerja JST.....	37
4.3.1	Analisis Parameter JST <i>Hidden Layer 3</i>	37
4.3.2	Analisis Parameter JST <i>Hidden Layer 4</i>	38
4.3.3	Analisis Parameter JST <i>Hidden Layer 5</i>	39
4.3.4	Analisis Parameter JST <i>Hidden Layer 8</i>	40
V.	SIMPULAN DAN SARAN	27
5.1	Simpulan.....	27
5.2	Saran.....	27
	DAFTAR PUSTAKA	29
	LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Desain sistem <i>electronic nose</i>	6
Gambar 2. 2 Implementasi sistem pengenalan jenis kopi	7
Gambar 2. 3 Hasil klasifikasi dengan metode PCA	8
Gambar 2. 4 Persentase zat volatil untuk semua biji kopi setelah penyangraian	9
Gambar 2. 5 Diagram blok sistem <i>e-nose</i>	10
Gambar 2. 6 Contoh Sistematika <i>Array Sensor</i>	11
Gambar 2. 7 Buah Kopi	12
Gambar 2. 8 Skema PCA	14
Gambar 2. 9 Model Struktur JST.....	17
Gambar 2. 10 <i>Backpropagation</i>	18
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3. 2 Skema Rancangan <i>Electronic Nose</i>	24

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jenis sensor gas beserta fungsi yang digunakan	21
Tabel 3. 2 Rancangan Tabel <i>confusion matrix</i>	23
Tabel 3. 3 Rancangan Tabel <i>binary confusion matrix</i>	26

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pertanian kopi yang pesat di Indonesia sejak zaman penjajahan Belanda juga berdampak pada pertanian Provinsi Lampung. Hingga saat ini, Provinsi Lampung terkenal sebagai penghasil kopi. Dalam tradisi masyarakat Lampung, kopi menjadi salah satu kebanggaan daerah. Lampung menjadi salah satu pemasok terbesar Kopi Robusta di Indonesia yaitu 21% dari jumlah total, hanya berbeda 1 % dengan Sumatera Selatan sebagai daerah utama penghasil kopi di Indonesia (BPS Lampung, 2018).

Daerah Lampung khususnya Lampung Barat, Tanggamus dan Lampung Utara merupakan daerah penghasil kopi di Provinsi Lampung. Jenis-jenis kopi yang dihasilkan adalah kopi Robusta (dominan) dan kopi Arabika. Selain kopi Robusta dan kopi Arabika, kopi Luwak merupakan salah satu jenis kopi yang terkenal dengan kenikmatan dan harganya yang cukup tinggi di pasaran. Oleh karena jenis kopi Robusta paling cocok dengan jenis tanah di Lampung, lahan-lahan perkebunan di Lampung didominasi oleh lahan kopi Robusta (Gaeki, 2018).

Kopi Lampung terkenal di berbagai daerah di Indonesia bahkan sampai ke luar negeri. BPS Lampung menetapkan bahwa Lampung juga memiliki peran besar dibidang eksportir kopi Indonesia berdasarkan ekspor di Indonesia. Data BPS menyebutkan bahwa ekspor kopi Lampung menyentuh angka yang fantastis yaitu beribu-ribu ton. Hasil kopi yang melimpah dan harga pasar yang menjanjikan membuat masyarakat Lampung sejahtera dengan perkebunan kopi mereka. Hal inilah yang menyebabkan banyak penduduk Lampung yang berprofesi sebagai petani kopi. Kopi Robusta dianggap menjadi kopi yang paling disukai, hal ini dibuktikan dengan persentase angka 21% dari semua jenis kopi yang diekspor.

Kopi Robusta memiliki sifat lebih unggul dan sangat cepat berkembang, oleh karena itu kopi jenis ini lebih banyak dibudidayakan oleh petani kopi di Indonesia

(Hasrianti, 2017). Kualitas kopi merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi nilai jual kopi. Sehingga kopi dengan kualitas yang baik mampu menghasilkan nilai jual yang tinggi (Hoffman, 2014). Akan tetapi, masih ada pedagang yang nakal yang mencampur kopi robusta asli Lampung dengan campuran-campuran lainnya, seperti dengan campuran biji kopi lain ataupun dengan campuran beras. Hal ini yang menyebabkan turunnya daya saing Kopi Robusta Lampung dengan kopi lainnya. Untuk mengurangi adanya kecurangan yang dilakukan oleh oknum pedagang, perlu adanya teknologi untuk membantu pembeli dalam menentukan biji kopi yang tanpa adanya campuran beras.

Penentuan kopi dapat ditentukan berdasarkan aroma yang terdapat pada kopi (Ulfa *et al.* 2019). Pada saat ini pengenalan aroma kopi di Indonesia masih menggunakan cara manual dengan memanfaatkan indera penciuman manusia untuk mencium aroma kopi agar dapat mengenali jenis kopi. Akan tetapi indera penciuman manusia terkadang tidak stabil tergantung keadaan fisik dan kondisi. Untuk dapat mengenali kopi agar mendapatkan kualitas kopi terbaik maka dibutuhkan suatu sistem yang mampu bekerja dengan akurasi yang tinggi. Dengan kemajuan teknologi yang berkembang pesat saat ini, untuk mempermudah mengevaluasi pengenalan dan klasifikasi kopi, maka terdapat suatu sistem yang meniru cara kerja indera penciuman manusia sehingga menghasilkan nilai objektif yang dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan kualitas kopi.

Klasifikasi kopi dapat dilakukan dengan cara tradisional yaitu dengan mencium aroma kopi sehingga dapat diklasifikasikan dengan beberapa jenis kopi seperti kopi luwak, kopi arabika dan lain sebagainya. Namun banyak sekali biji kopi yang menggunakan campuran seperti beras dan juga jagung. Hal tersebut dilakukan karena untuk meminimalisir adanya kafein yang terdapat pada kopi (Nurfaizah, 2024). Penggunaan kopi dengan campuran dari jagung dinilai memiliki nilai ekonomi yang baik serta membuat harga yang ditawarkan menjadi lebih murah karena terdapat campuran jagung didalamnya. Selain itu, tepung beras juga digunakan sebagai bahan campuran didalam biji kopi. Tepung beras digunakan sebagai campuran didalam kopi agar nilai jualnya menjadi lebih murah dan mengurangi kafein yang ada di dalam kopi (Putri *and* Pratiwi, 2022). Penggunaan tepung beras dan jagung sebagai campuran dalam biji kopi menjadi favorit terutama

masyarakat yang ada di kota Lampung. Namun banyak pedagang yang memanfaatkan campuran tersebut untuk mengambil keuntungan lebih banyak dengan harga jual biji kopi yang sama dengan harga biji kopi tanpa campuran. Oleh karena itu, perlu adanya penggunaan teknologi untuk membantu dalam mengidentifikasi biji kopi yang terdapat campuran didalamnya. Penggunaan teknologi tersebut dapat memanfaatkan sebuah sensor yang mampu mendeteksi sebuah gas yang terdapat pada sebuah objek seperti sensor *Electronic Nose (e-nose)*.

Electronic nose (e-nose) adalah sensor yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi khususnya dalam pendeteksian macam-macam gas dan racun, salah satunya yaitu untuk mengenali keaslian kopi. Ulfa *et al.* (2019) sudah melakukan desain sistem pengenalan dan klasifikasi kopi bubuk bermerek dengan menggunakan *electronic nose* berbasis *artificial neural network* (ANN) dengan arsitektur yang dibangun menggunakan 3 buah layer dengan 3 *input* berupa hasil pembacaan gas *electronic nose* dengan *output* target merupakan kombinasi dari biner angka 0 dan 1. Jaringan syaraf tiruan yang dipakai dalam penelitian mereka mampu mengenali nilai keaslian kopi robusta dengan menggunakan iterasi maksimal sebesar 5000, hasil *output* menunjukkan bahwa *JST backpropagation* mampu mengenali jenis kopi dengan tingkat keberhasilan 73,3% (Ulfa *et al.*, 2019). Namun sensor yang efektif digunakan hanya sensor TGS-822 dan TGS 2602 serta analisis data sampel yang dipakai belum menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA).

Berdasarkan pemaparan di atas maka telah dilakukan sistem pengenalan dan klasifikasi jenis kopi robusta dengan menggunakan *Electronic nose* berbasis Jaringan Syaraf Tiruan (JST) sebagai alat yang menarik untuk pemodelan proses yang kompleks. Kekuatan ini adalah struktur yang umum dan memiliki kemampuan untuk mempelajari dari data historikalnya. Sistem yang akan dilakukan ini merupakan sebuah pengenalan dan klasifikasi jenis kopi menggunakan *e-nose* dan Jaringan Syaraf Tiruan dengan metode pembelajaran *Backpropagation* dan *Principal Component Analysis* (PCA) menggunakan *software* Matlab 2015, yang diharapkan mampu bekerja sesuai dengan sistem.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana mengidentifikasi keaslian kopi robusta dengan sistem *electronic nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation*?;
2. Bagaimana respon keluaran masing-masing sensor untuk uji kopi dengan sistem *electronic nose*?;
3. Bagaimana menganalisis hasil respon untuk mendeteksi keaslian kopi robusta dengan sistem *electronic nose*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi keaslian kopi robusta dengan sistem *electronic nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation*;
2. Mengenali respon keluaran masing-masing sensor untuk uji kopi dengan sistem *electronic nose*;
3. Menganalisis hasil respon untuk deteksi keaslian kopi robusta dengan sistem *electronic nose*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengembangan terhadap sistem *e-nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* untuk mengidentifikasi jenis kopi yang terdapat campuran.
2. Sebagai alat yang dapat mendeteksi jenis kopi yang terdapat campuran beras atau jagung didalamnya.

1.5 Batasan Masalah

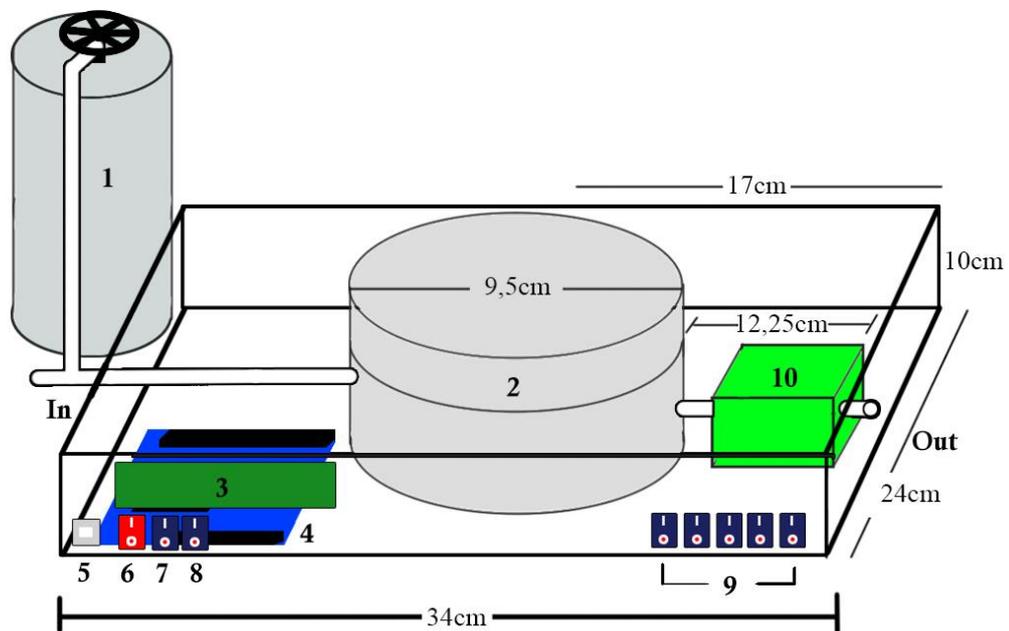
Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode jaringan syaraf tiruan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *back propagation* dan *Principal Component Analysis* (PCA);
2. Sensor gas yang digunakan adalah MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822;
3. Kopi yang digunakan adalah kopi robusta bubuk yang di produksi di daerah Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Fadhillah (2019) melakukan penelitian mengenai pembuatan rancang bangun sistem *electronic nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* untuk mendeteksi penyakit diabetes militus yang mampu membedakan penderita penyakit diabetes militus dengan orang normal berdasarkan profil gas pernapasan. Dalam penelitian ini jenis sensor gas yang digunakan adalah *Metal Oxide Sensor*. **Gambar 2.1** merupakan desain sistem *electronic nose* yang akan digunakan sebagai dasar penelitian sistem *electronic nose* untuk mengidentifikasi jenis kopi.



Gambar 2. 1 Desain sistem *electronic nose* (Fadhillah, 2019)

Tahap penelitian meliputi pengujian dan kalibrasi sensor, pelatihan jaringan syaraf tiruan, pengambilan data, dan analisis hasil. Sistem *e-nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* mampu mendeteksi gas aseton dan etanol (Fadhillah, 2019).

Ulfa *et al.* (2019) merancang sistem klasifikasi dan pengenalan kualitas kopi bubuk dengan menggunakan metode berbasis ANN atau lebih dikenal dengan metode jaringan syaraf tiruan, yang mampu meningkatkan akurasi dalam mengelompokkan jenis kopi berdasarkan aroma kopi. Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian mereka adalah dapat mempermudah untuk mengenali dan mengklasifikasikan kopi bubuk dengan menggunakan *e-nose*, tidak lagi bergantung pada indera penciuman manusia yang biasanya tidak stabil serta tidak bisa secara kontinu menghasilkan ukuran yang tetap. **Gambar 2.2** merupakan implementasi sistem klasifikasi dan pengenalan kualitas kopi bubuk oleh Ulfa *et al.* (2019).

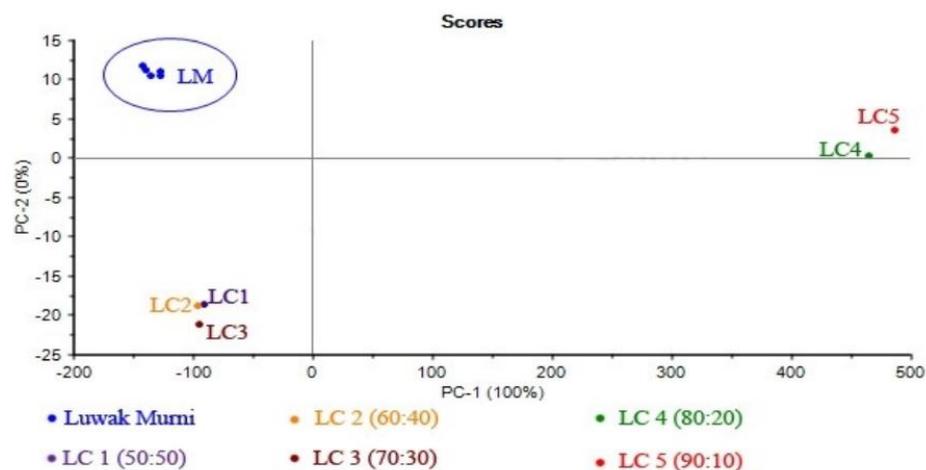


Gambar 2. 2 Implementasi sistem pengenalan jenis kopi (Ulfa *et al.*, 2019)

Keterangan **Gambar 2. 2** yaitu (1) LCD, (2) Relay, (3) Rangkaian regulator, (4) Minimum sistem ATmega 16, (5) PC/Laptop. Arsitektur yang dibangun menggunakan 3 buah layer dengan 3 *input* berupa hasil pembacaan gas *electronic nose*. Sedangkan *output* target merupakan kombinasi dari biner angka 0 dan 1. Jaringan syaraf tiruan yang dipakai dalam penelitian mereka mampu mengenali nilai kopi arabika, robusta dan liberika dengan menggunakan iterasi maksimal sebesar 5000, hasil *output* menunjukkan bahwa JST *backpropagation* mampu mengenali jenis kopi dengan tingkat keberhasilan 73,3% (Ulfa *et al.*, 2019).

Hulda dan Munawar (2019) melakukan pendeteksian bubuk kopi luwak murni dan bubuk kopi luwak campuran dengan memanfaatkan instrumen berbasis teknologi hidung elektronik. Penelitian ini menggunakan bubuk kopi luwak murni dan bubuk kopi arabika yang dicampurkan dengan perbandingan (50:50, 60:40, 70:30, 80:20,

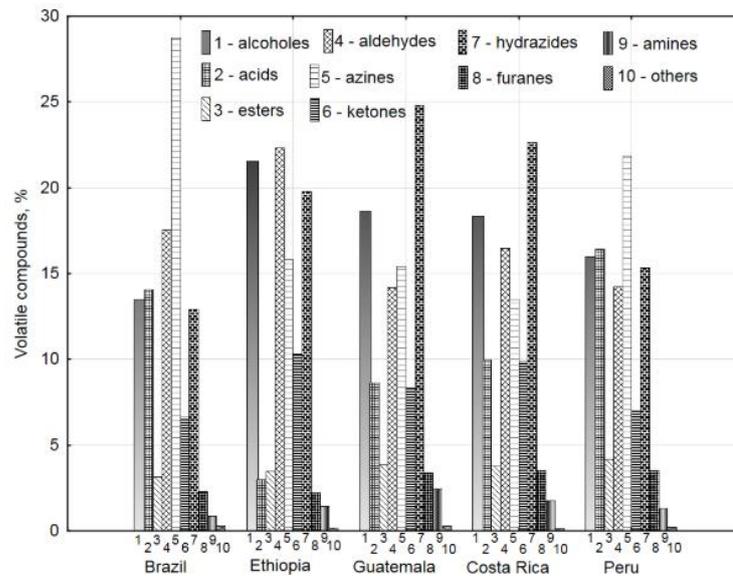
dan 90:10). Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 10 sampel. Pengukuran intensitas sinyal aroma bubuk kopi tersebut menggunakan sensor *piezoelectric transducers*. Klasifikasi data spektrum bubuk kopi yang mereka lakukan menggunakan metode *Principal Component Analysis (PCA)* dengan *pretreatment* yaitu *Gap Reduction*. Hasil klasifikasi dengan metode PCA menghasilkan data yang dapat membedakan antara bubuk kopi luwak murni dan bubuk kopi luwak campuran yang dapat dilihat pada **Gambar 2. 3**



Gambar 2. 3 Hasil klasifikasi dengan metode PCA (Hulda *and* Munawar, 2019)

Hasil penelitian tersebut diperoleh hidung elektronik yang mulai merespon aroma bubuk kopi pada detik ke 5,64 dan dapat mengklasifikasikan bubuk kopi pada detik ke 11,09. Hidung elektronik yang dikombinasikan dengan metode PCA telah berhasil mendeteksi bubuk kopi luwak murni dan bubuk kopi luwak campuran dengan tingkat keberhasilan sebesar 100% (PC-1 sebesar 100% dan PC-2 sebesar 0%) (Hulda *and* Munawar, 2019).

Marek *et al.* (2020) menjelaskan kemungkinan deteksi dan perbedaan berbasis hidung elektronik dari senyawa yang mudah menguap di dalam biji kopi arabika yang sudah disangrai dari berbagai negara yang dipanggang di dalam *roaster Gothot* pada waktu dan termal yang sama. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kopi arabika sangrai dari Brazil, Ethiopia, Guatemala, Kosta Rika, dan Peru. Analisis dilakukan dengan menggunakan hidung elektronik *Agrinose* yang dirancang dan dibangun oleh *Institute of Agrophysics of the Polish* dan Akademi Ilmu Pengetahuan di Lublin.

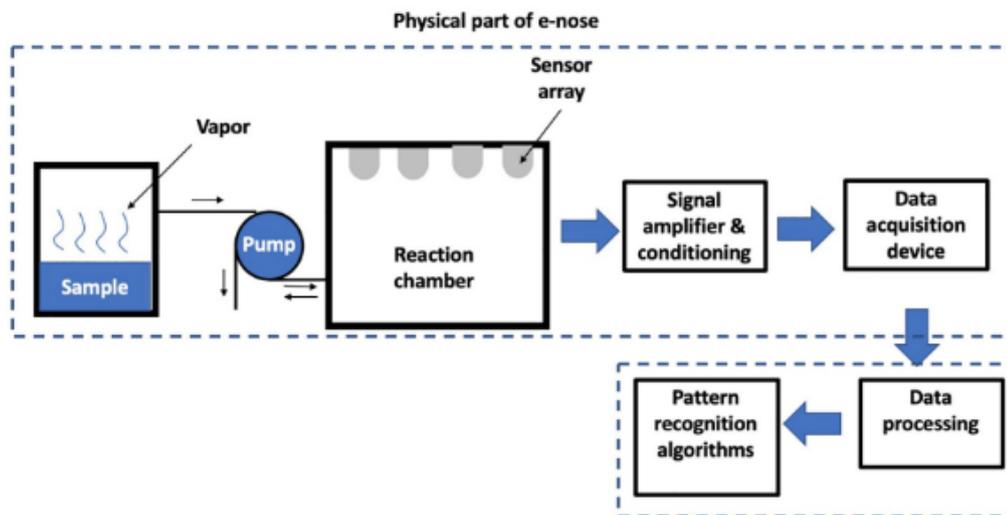


Gambar 2. 4 Persentase zat volatil untuk semua biji kopi setelah penyangraian (Marek *et al.*, 2020).

Hasil analisis senyawa yang mudah menguap disediakan oleh perangkat *Agrinose* diverifikasi dengan teknik GC-MS. Tes kemometri yang mereka lakukan menunjukkan peran dominan alkohol, asam, aldehida, azin, dan hidrazida dalam senyawa volatil yang terdapat di kopi. Perbedaan kandungannya berdampak pada profil bau kopi yang berasal dari berbagai negara. Meskipun kondisi pemanggangannya sama, kandungan piridin yang tinggi dari kelompok azin terdeteksi di kopi dari Peru dan Brazil. Hasil analisis *agrinose* zat volatil konsisten dan berkorelasi dengan hasil GC-MS yang menunjukkan bahwa *file agrinose* adalah alat yang menjanjikan untuk pemilihan kopi berdasarkan profil senyawa volatilnya (Marek *et al.*, 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Tan dan Xu (2020) tentang Aplikasi *electronic nose* (*e-nose*) dan *electronic tongue* (*e-tongue*) dalam penentuan sifat terkait kualitas makanan. Pengenalan pola yang mereka gunakan dan bandingkan antarlain jaringan saraf tiruan (JST), jaringan saraf konvolusional, komponen utama analisis, regresi kuadrat terkecil parsial, dan mesin vektor dukungan. Menurut mereka secara keseluruhan, algoritma pengenalan pola kombinasi *e-nose* adalah alat analisis yang sangat kuat, yang relatif murah, cepat, dan akurat. *E-nose* juga cocok untuk pengukuran *in-line* maupun *off-line*, yang sangat berguna dalam memantau

pemrosesan makanan dan mendeteksi kualitas produk akhir. **Gambar 2.5** merupakan diagram blok sistem *e-nose* yang dilakukan oleh Tan dan Xu (2020).



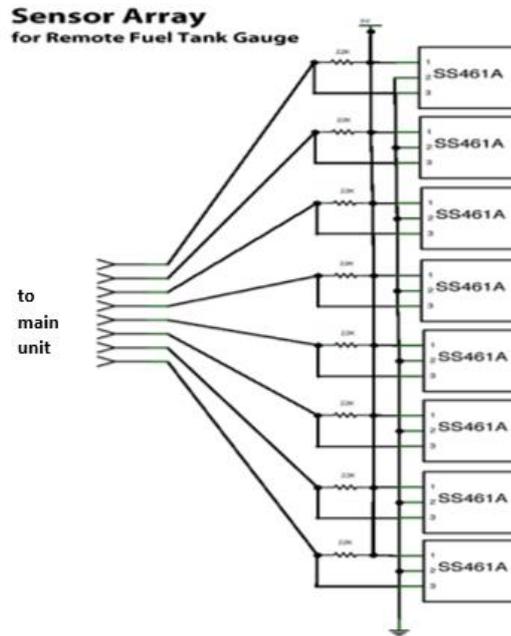
Gambar 2.5 Diagram blok sistem *e-nose* (Tan and Xu, 2020).

2.2 Teori Dasar

2.2.1 *Electronic nose*

Electronic nose (e-nose) adalah sebuah instrumen yang kerjanya meniru prinsip kerja indra penciuman. *Electronic nose* terdiri dari larik sensor (*array sensor*) gas sebagai pengganti reseptor penciuman yang berfungsi untuk mendeteksi bau atau aroma. Aroma yang dideteksi oleh beberapa sensor gas ini kemudian akan membentuk suatu pola tertentu. Pola ini kemudian akan dikenali menggunakan sistem pengenalan pola. Secara umum, sebuah larik (*array*) dapat diartikan sebagai beberapa benda yang disusun menurut aturan tertentu (Fadhilah, 2019). Dalam pembahasan sensor *array*, maka benda di sini adalah sensor-sensor gas. Sebuah *array sensor* dapat diartikan sebagai kumpulan sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai bahan yang sedang dites. Dalam aplikasi yang melibatkan zat kimia, sensor-sensor ini terdiri dari sensor-sensor yang berbeda dengan sensitivitas yang berbeda-beda pula. Larik sensor gas dipakai untuk mengonversi informasi kimia yang terdapat pada gas sampel menjadi sinyal-sinyal yang dapat terukur. Sensor-sensor tersebut diakses secara individual dan secara hampir bersamaan pada alat yang digunakan. Oleh sebab itu, dalam prosedur

operasinya sensor-sensor tersebut dapat digunakan sebagai elemen sensor yang independen. Contoh dari sistematika *array* sensor ditunjukkan pada **Gambar 2. 6**



Gambar 2. 6 Contoh Sistematika *Array* Sensor (Jati and Lelono, 2013)

Saat ini, *e-nose* digunakan untuk aplikasi kontrol kualitas dalam industri makanan, minuman, kimia, bioteknologi, kesehatan, pertahanan, perlindungan lingkungan dan lain-lain. Di industri makanan, *e-nose* dapat digunakan untuk identifikasi aroma yang berguna dalam pemantauan proses produksi, seperti penelitian tentang klasifikasi jamur patogen yang menyerang pertanian buah stroberi, untuk mendeteksi kesegaran makanan seperti daging sapi, daging babi, dan tahu (Sari *et al.*, 2018).

Electronic nose dirancang untuk meniru sistem penciuman pada manusia. Menurut Berna (dalam Fadhilah, 2019), *electronic nose* ini dilakukan dengan sensor *array* yang akan memberikan respon yang berbeda sesuai dengan senyawa volatil yang terdeteksi.

2.2.2 Kopi

Kopi merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang sudah sejak lama dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Konsumsi kopi di dunia

mencapai 70% yang berasal dari jenis kopi arabika dan 26% dari jenis kopi robusta. Kopi berasal dari negara Afrika yaitu di daerah pegunungan Ethiopia. Namun kopi baru dikenal sendiri oleh masyarakat dunia setelah tanaman tersebut dikembangkan di luar daerah asalnya yaitu Yaman di bagian selatan Arab melalui pedagang Arab. Kopi dikenal dengan kandungan kafeinnya yang tinggi. Kafein adalah zat perangsang saraf yang sangat penting, kafein ditemukan dalam biji kopi. Kandungan kafein pada kopi arabika sebesar 1,2%, sedangkan kopi robusta sebesar 2,2% (Sembiring *et al.*, 2016). Buah kopi dapat dilihat pada **Gambar 2.7**



Gambar 2. 7 Buah Kopi (Abidin, 2018).

Ada beberapa jenis kopi yang sudah dibudidayakan yaitu kopi arabika dan kopi robusta.

1. Kopi Arabika tumbuh di dataran tinggi sekitar 1350-1850 m dpl (meter di atas permukaan laut), sedangkan di Indonesia kopi ini dapat tumbuh pada ketinggian 1000-1750 m dpl. Kopi umumnya memiliki dua biji. Biji kopi arabika agak memanjang, bidang cembung tidak terlalu tinggi, celah tengah pada bagian datar tidak memanjang lurus ke bawah melainkan berlekuk. Untuk biji yang dikeringkan, celah tengah akan tampak putih.
2. Kopi Robusta dapat tumbuh pada ketinggian 1.700 m dpl dan juga dapat tumbuh pada ketinggian yang lebih rendah dibandingkan dengan lokasi perkebunan arabika. Kopi jenis ini berasal dari Afrika. Kopi Robusta disebut juga kopi *Canephora*. Kopi robusta memiliki biji yang agak bulat,

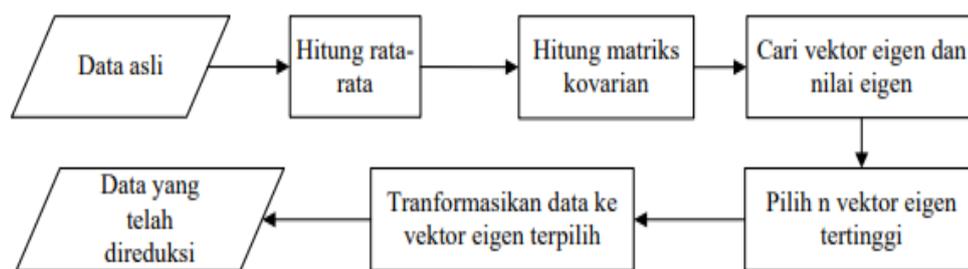
kelengkungan biji lebih tebal dari kopi arabika dan garis tengah dari atas ke bawah hampir rata (Hasbullah *et al.*, 2018).

Electronic nose ini dapat digunakan sebagai sensor detektor semi- selektif yang menggantikan GC untuk proses pemisahan dimana digunakan oleh Pardo *et al.* (2000) untuk membedakan jenis kopi espresso (Pardo *et al.*, 2000). Penelitian yang dilakukan oleh Rabersyah *et al.* (2016) menggunakan *electronic nose* untuk mengidentifikasi jenis bubuk kopi dilengkapi dengan metode *backpropagation* (Rabersyah *et al.*, 2016). Pemanfaatan *electronic nose* juga digunakan oleh Shilbayeh *et al.* (2004) untuk pengendalian kualitas kontrol bubuk kopi untuk diklasifikasikan menjadi kelas yang berbeda (Shilbayeh *et al.*, 2004). *Electronic nose* ini bekerja dengan mendeteksi perubahan dalam senyawa volatil yang ada pada aroma karena kondisi lingkungan. Reaksi yang ditimbulkan oleh adanya aroma merupakan perubahan resistansi pada setiap gas sensor. Perubahan resistansi ini akan menunjukkan perubahan tegangan berupa data digital komputer pengguna (Nugroho *et al.*, 2016). Menurut Marco dan Gutierrez-Galvez (2012), hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan sensor *array* adalah jenis dan jumlah sensor (Marco and Gutierrez-Galvez, 2012) Penelitian yang dilakukan oleh Oates *et al.* (2018), menyebutkan bahwa *electronic nose* yang digunakan adalah beberapa sensor gas oksida logam (MOQ) yang dipasang dalam *prototype electronic nose* ini (Oates *et al.*, 2018).

2.2.3 Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) adalah salah satu metode reduksi dimensi jenis ekstraksi fitur yang bisa digunakan dalam mereduksi dimensi data *microarray*. Data *microarray* yang memiliki ukuran sampel yang kecil dengan jumlah fitur yang tinggi hal ini akan menimbulkan permasalahan yang kompleks pada proses klasifikasi yang biasa disebut sebagai *curse of dimensionality*. *Principal Component Analysis* (PCA) adalah metode statistik yang secara linear mengganti beberapa kumpulan variable asli menjadi suatu kumpulan variable yang tidak berkorelasi secara substansial lebih kecil dimana yang mewakili sebagian besar data pada kumpulan variable asli (Asmarianti *et al.*, 2022). Untuk menyelesaikan masalah tersebut, yang sering digunakan adalah reduksi dimensi. Reduksi dimensi

terbagi menjadi dua jenis yaitu seleksi fitur dan ekstraksi fitur. Seleksi fitur dilakukan dengan memilih beberapa fitur yang dianggap penting untuk klasifikasi. Sementara itu, ekstraksi fitur dilakukan dengan memproyeksikan data ke dalam fitur baru yang berjumlah lebih sedikit tetapi tetap mencerminkan data aslinya. Salah satu metode ekstraksi fitur yang terkenal adalah *Principal Component Analysis* (PCA). Langkah-langkah dalam PCA terdiri dari: menghitung rata-rata, menghitung matriks kovarian, menghitung vektor eigen dan nilai eigen, memilih n vektor eigen tertinggi, dan transformasi data.



Gambar 2. 8 Skema PCA (Astuti *and* Adiwijaya, 2019).

Berdasarkan **Gambar 2.8** di atas, data asli yang didapatkan ditentukan terlebih dahulu dengan mencari nilai rata-ratanya. Kemudian mencari tahu matriks kovariannya dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{var}(x) = \sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (2.1)$$

Dengan x_{ij} dan \bar{x}_j merupakan rata-rata (*mean*) sampel dari variabel x dan y (*mean*), dimana x_i dan y_i adalah nilai observasi ke- i dari variabel x dan y . Dari data numerik yang digunakan dapat diperoleh matriks kovarians berukuran $n \times n$. Kemudian mencari nilai *eigen* dan vektor *eigen* dari matriks kovarian yang diperoleh untuk matriks kovarian dihitung.

Metode *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mereduksi variabel data sehingga menjadi lebih sederhana dengan aturan tertentu dapat mewakili semua variabel dari populasi data dan selanjutnya dapat digunakan sebagai klasifikasi dari sebaran data. Untuk mencari bagian dasar yang kombinasinya linier dari variabel asal (respon sensor) yang menjelaskan tiap sensor. Selama proses, set data asli berkurang yaitu dikompresi dengan sedikit kehilangan informasi sebanyak

mungkin. Dalam kata lain, PCA memproyeksikan matriks data yang semula berdimensi tinggi menjadi dimensi terendah (3 dimensi atau 2 dimensi) dengan menyaring *noise* dalam data matriks asli tanpa kehilangan informasi penting yang dijelaskan dalam varians dari data. Hubungan antara sampel bisa divisualisasikan dengan plot masing- masing PCA (Astuti *and* Adiwijaya, 2019).

2.2.4 *Software Matlab*

Matlab adalah sebuah bahasa dengan (*high-performance*) kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk pakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar. Penggunaan Matlab meliputi bidang–bidang seperti Matematika dan Komputasi; Pembentukan Algoritma; Akusisi Data; Pemodelan; Simulasi; dan Pembuatan *Prototype*; Analisa data; Explorasi dan Visualisasi; Grafik Keilmuan dan Bidang Rekayasa (Gilat, 2011).

Sebagai sebuah sistem, Matlab tersusun dari 5 bagian utama:

1. *Development Environment*, merupakan sekumpulan perangkat dan fasilitas yang membantu kita untuk menggunakan fungsi-fungsi dan *file-file* Matlab. Beberapa perangkat ini merupakan sebuah *Graphical User Interfaces (GUI)*. Termasuk didalamnya adalah Matlab *desktop* dan *command window*, *command history*, sebuah editor dan *debugger*, dan *browsers* untuk melihat *help*, *workspace*, *files*, dan *search path*.
2. *Matlab Mathematical Function Library*, merupakan sekumpulan algoritma komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti: *sum*, *sin*, *cos*, dan *complex arithmetic*, sampai dengan fungsi-fungsi yang lebih kompleks seperti *matrix inverse*, *matrix eigenvalues*, *Bessel functions*, dan *Fast Fourier Transforms*.
3. Matlab Language, merupakan suatu high-level matrix/ array language dengan control flow statements, functions, data structures, input/ output, dan fitur-fitur object-oriented programming. Ini memungkinkan bagi kita untuk melakukan kedua hal baik “pemrograman dalam lingkup sederhana” untuk

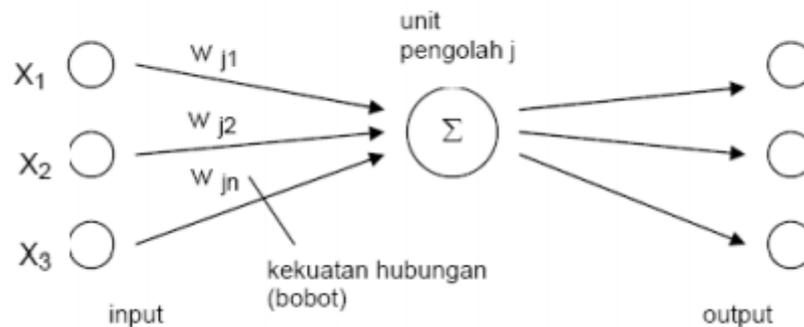
mendapatkan hasil yang cepat, dan “pemrograman dalam lingkup yang lebih besar”.

4. *Graphics*, Matlab memiliki fasilitas untuk menampilkan vector dan matriks sebagai suatu grafik. Didalamnya melibatkan *high-level functions* (fungsi-fungsi level tinggi) untuk visualisasi data dua dimensi dan data tiga dimensi, *image processing*, *animation*, dan *presentation graphics*. Ini juga melibatkan fungsi level rendah yang memungkinkan bagi kita untuk membiasakan diri untuk memunculkan grafik mulai dari bentuk yang sederhana sampai dengan tingkatan *graphical user interfaces* pada aplikasi Matlab.
5. *Matlab Application Program Interface (API)*, merupakan suatu *library C* yang memungkinkan program yang telah kita tulis dalam bahasa dan *Fortran* mampu berinteraksi dengan Matlab.

2.2.5 Metode *Back Propagation*

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai Jaringan Syaraf Biologi (JSB). JST tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis dari pemahaman manusia (*human cognition*) yang didasarkan atas asumsi sebagai berikut:

1. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut neuron
2. Sinyal mengalir diantara sel saraf/ neuron melalui suatu sambungan penghubung
3. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot yang bersesuaian. Bobot ini akan digunakan untuk menggandakan/ mengalikan sinyal yang dikirim melaluinya.
4. Setiap sel syaraf akan menerapkan fungsi aktivasi terhadap sinyal hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan sinyal keluarannya.



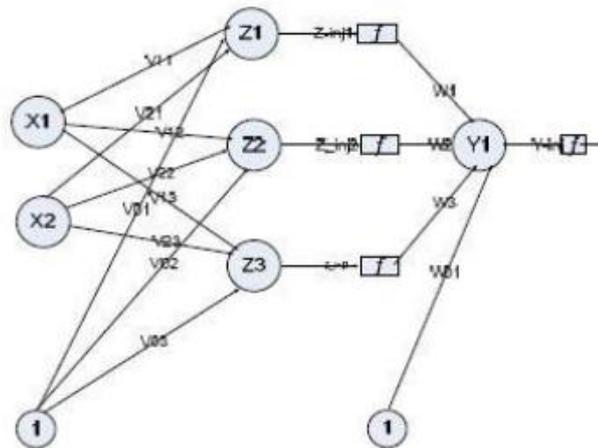
Gambar 2. 9 Model Struktur JST (Wuryandari *and* Afrianto, 2012).

Model struktur neuron jaringan syaraf tiruan dapat belajar dari pengalaman, melakukan generalisasi atas contoh yang diperolehnya dan mengabstraksi karakteristik esensial masukan bahkan untuk data yang tidak relevan. Algoritma untuk JST beroperasi secara langsung dengan angka sehingga data yang tidak numerik harus diubah menjadi data numerik. JST tidak diprogram untuk menghasilkan keluaran tertentu. Semua keluaran atau kesimpulan yang ditarik oleh jaringan didasarkan pada pengalamannya selama mengikuti proses pembelajaran. Pada proses pembelajaran, ke dalam JST dimasukkan pola-pola masukan dan keluaran lalu jaringan akan diajari untuk memberikan jawaban yang bisa diterima. Pada dasarnya karakteristik JST ditentukan oleh:

1. Pola hubungan antar neuron (disebut arsitektur jaringan)
2. Metode penentuan bobot-bobot sambungan (disebut dengan pelatihan atau proses belajar jaringan)
3. Fungsi aktivasi

Backpropagation merupakan salah satu arsitektur jaringan saraf tiruan yang sangat populer seperti multilayer *feedforward networks*. Secara umum, jaringan seperti ini terdiri dari sejumlah unit neuron sebagai lapisan masukan, satu atau lebih lapisan simpul-simpul neuron komputasi lapisan tersembunyi, dan sebuah lapisan simpul-simpul neuron komputasi keluaran. Sinyal masukan dipropagasikan ke arah depan (arah lapisan keluaran) lapisan demi lapisan. Jenis jaringan ini adalah hasil generalisasi dari arsitektur *perceptron* satu lapisan yang biasa disebut sebagai *multilayer perceptron* (MLPs). *Error back propagation* adalah algoritma MLPs yang menggunakan prinsip pembelajaran terawasi. Propagasi balik (ke arah lapisan masukan) terjadi setelah jaringan menghasilkan keluaran yang mengandung *error*.

Pada fase ini seluruh bobot *synaptic* (yang tidak memiliki aktivasi nol) dalam jaringan akan disesuaikan untuk mengkoreksi/ memperkecil *error* yang terjadi (*error correction rule*). Untuk pelatihan jaringan, pasangan fase propagasi ke depan dan balik dilakukan secara berulang untuk satu set data latihan, kemudian diulangi untuk sejumlah *epoch* (satu sesi lewatan untuk seluruh data latihan dalam sebuah proses pelatihan jaringan) sampai *error* yang terjadi mencapai batas kecil toleransi tertentu atau nol.



Gambar 2. 10 *Backpropagation* (Wuryandari and Afrianto, 2012).

Berdasarkan **Gambar 2. 10** dapat dilihat bahwa jaringan *backpropagation* yang bertindak sebagai dendrit adalah X1 dan X2, yaitu data masukan pada jaringan tersebut. Terdapat 2 sinapsis atau bobot yaitu V dan W, sedangkan Z dan Y merupakan bagian dari soma atau badan sel dari jaringan tersebut dan yang bertindak sebagai akson atau data keluaran adalah Y (Wuryandari and Afrianto, 2012).

Penelitian sebelumnya mengenai *e-nose* dalam metode *back propagation* dilakukan oleh Jiri dan Josowicz (2002) yang mengembangkan sistem penciuman elektronik *portable* yang menggunakan deret sensor berbahan komposit polimer-karbon yang digunakan untuk mengklasifikasi *volatile organic compound* pada sampel minuman *brandy* dan *whiskey* (Jiri and Josowicz, 2002) dan juga Hua dan Gaoquan (2006) yang melakukan penelitian untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah tomat dengan teknik penciuman elektronik menggunakan deret sensor metal *oxide semiconductor* (Hua and Gaoquan, 2006).

2.2.6 Evaluasi Kinerja JST

Evaluasi kinerja JST dilakukan menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* mempresentasikan hasil prediksi dan kondisi 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 yang menggambarkan kinerja JST. Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan untuk mengevaluasi performa JST (Mazen and Mazhat, 2019).

1. Akurasi

Akurasi merupakan rasio prediksi benar (*TN* dan *TP*) terhadap keseluruhan data. Akurasi dihitung dengan persamaan:

$$AC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \quad (2.2)$$

2. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan rasio prediksi benar positif (*TP*) terhadap data benar positif (*TP*) dan salah negatif (*FN*). Sensitivitas dihitung dengan persamaan:

$$SN = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (2.3)$$

3. Spesifitas

Spesifitas merupakan rasio prediksi benar negatif (*TN*) terhadap data benar negatif (*TN*) dan salah positif (*FP*). Spesifitas dihitung dengan persamaan:

$$SP = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (2.4)$$

4. Presisi

Presisi merupakan rasio prediksi benar positif (*TP*) terhadap data benar positif (*TP*) dan salah positif (*FP*). Presisi dihitung dengan persamaan:

$$PR = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (2.5)$$

5. Prediksi Negatif

Prediksi negatif merupakan rasio prediksi benar negatif (*TN*) terhadap data benar negatif (*TN*) dan salah negatif (*FN*). Prediksi negatif dihitung dengan persamaan :

$$PN = \frac{TN}{TN+FN} \times 100 \quad (2.6)$$

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 bernilaisalah dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan November 2023 hingga April 2024. Kegiatan penelitian ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan sampel, pengambilan data uji awal, pengenalan pola, pengelompokan sampel, pemrograman PCA di Matlab, pengenalan sampel, analisa data, dan penulisan laporan.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Electronic nose* terdiri dari Arduino uno, LCD, dan sensor gas. Arduino uno digunakan sebagai mikrokontroler yang mengendalikan LCD dan pompa serta mengolah *output* dari sensor gas. LCD digunakan untuk menampilkan hasil analisa gas yang dimasukkan kedalam *chamber*. Serta sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas sampel. **Tabel 3.1** menunjukkan sensor gas yang digunakan untuk menganalisa sampel.

Tabel 3.1 Jenis sensor gas beserta fungsi yang digunakan

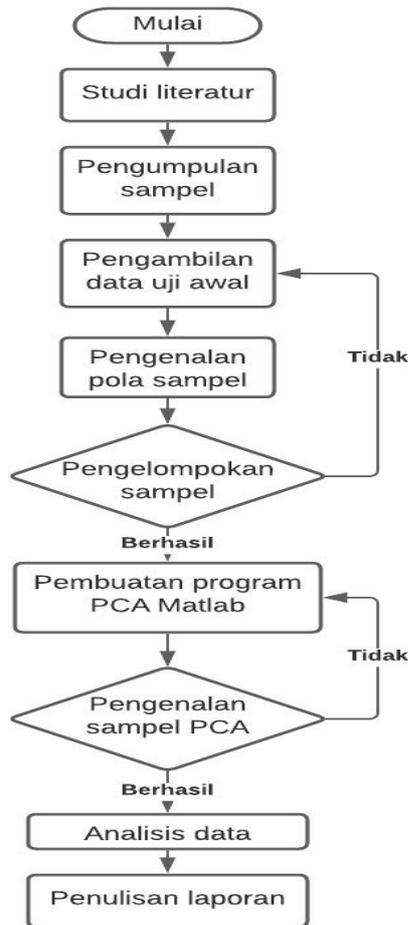
No	Jenis Sensor Gas	Gas yang dideteksi
1	MQ-3	Alkohol dan sedikit sensitif pada benzine
2	TGS-2600	hidrogen, karbon monoksida, dan etanol
3	TGS-2602	Gas berbau seperti amonia, etanol dan H ₂ S
4	TGS-822	Metana, Co, benzene dan aseton
5	TGS-2611	Metana, aseton dan gas alam

2. *Chamber* digunakan sebagai ruang untuk sensor menganalisa gas yang dimasukkan.
3. Selang kecil digunakan untuk mengalirkan gas yang akan dianalisa.

4. Pompa digunakan untuk membuang gas yang ada di *chamber* setelah selesai melakukan analisis.
5. Tabung gas nitrogen digunakan sebagai tempat menyimpan gas nitrogen. Gas nitrogen berfungsi untuk membersihkan *chamber* dan sensor.
6. PC/Komputer digunakan untuk akuisisi data dan mengelolah sinyal masukan dari arduino sehingga didapatkan data yang diinginkan.
7. *Software* Matlab R2015b yang digunakan untuk komputasi, mengolah dan menganalisis. Selain itu, digunakan untuk merancang jaringan syaraf tiruan (JST).
8. Sampel terdiri dari kopi robusta asli, kopi robusta campuran beras dan kopi robusta campuran jagung dengan kopi jenis bubuk yang terdapat di daerah Lampung.

3.3 Prosedur Penelitian

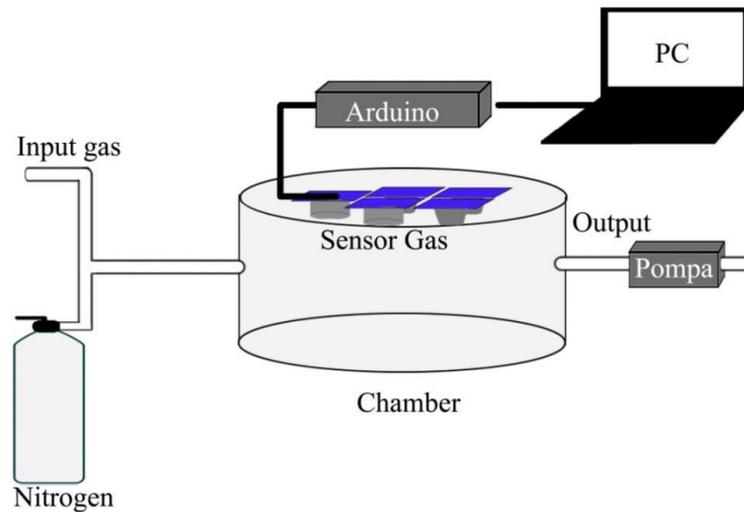
Metode yang digunakan pada penelitian ini melalui beberapa tahapan penelitian antaralain studi literatur, pengumpulan sampel, pengambilan data uji awal, pengenalan pola, pengelompokkan sampel, pemrograman PCA di Matlab, pengenalan sampel, analisa data, dan penulisan laporan. Secara keseluruhan, beberapa tahapan penelitian sistem *electronic nose* menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* untuk mengidentifikasi jenis kopi disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan seperti pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

1. Tahap studi literatur dilakukan untuk memperkuat permasalahan yang ditemukan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi yang menjadi dasar untuk mengidentifikasi jenis kopi yang akan diuji. Studi literatur tentang penelitian terkait *e-nose* didapatkan dari *textbook*, *journal*, artikel ilmiah, dan literatur.
2. Tahap pengumpulan sampel dilakukan dengan mengumpulkan beberapa sampel berupa produk kopi bubuk yang diproduksi di daerah Lampung. Kopi bubuk yang digunakan antaralain kopi lampung robusta, serta campuran beras dan jagung.
3. Tahap pengambilan data uji awal
Pengambilan data uji awal atau data latih dilakukan sebanyak mungkin untuk mendapatkan hasil yang valid dan benar dengan mengambil sampel gas masing-masing kopi yang akan masuk ke dalam *chamber* kemudian gas kopi

tersebut akan dideteksi oleh *array* sensor yang terhubung dengan arduino dan PC seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Skema Rancangan *Electronic Nose*

4. Tahap pengenalan pola sampel

Pada tahap ini pengenalan pola dilakukan dengan cara memplot grafik sinyal keluaran dari *e-nose* yang berjumlah banyak sesuai pengambilan data uji awal.

5. Tahap pengelompokkan sampel

Pada tahap ini pengelompokkan sampel dilakukan untuk mengamati sensor apakah dapat membedakan gas beberapa sampel yang telah diuji dan mampu mengelompokkan sampel sesuai jenisnya. Jika sampel mampu dikenali maka penelitian dapat dilanjutkan ke prosedur selanjutnya, jika sampel tidak dikenali maka penelitian harus diulang kembali dari pengambilan data uji awal.

6. Tahap pembuatan pemrograman PCA

Pada tahap ini pembuatan pemrograman PCA dilakukan dengan membuat jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan *software* Matlab R2015b yang digunakan sebagai pengenalan atau pembeda profil gas jenis kopi. Pemrograman PCA yang merupakan bagian dari JST menggunakan metode *backpropagation* bekerja dengan cara mencari fungsi kesalahan minimum pada ruang bobot dengan menggunakan bantuan *software* Matlab *Graphic User Interface* (GUI). Kemudian dilakukan tahap klasifikasi sinyal masukan sensor *array* dengan JST

backpropagation yang dilakukan untuk melatih JST agar dapat membedakan gas sampel. Hasil yang ditampilkan berupa gas yang dianalisa tergolong jenis gas kopi yang akan diuji.

7. Tahap pengenalan sampel

Pada tahap ini pengenalan sampel dilakukan dengan uji pada sensor setelah sampel telah dikelompokkan yang dilakukan dengan pemrograman PCA di Matlab sehingga sampel mampu dikenali berdasarkan jenisnya. Data yang diperoleh akan dianalisa dan dibahas.

3.4 Pembuatan Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan algoritma *Backpropagation*. Proses jaringan syaraf tiruan dilakukan setelah diperoleh beberapa data yang dibutuhkan. Jaringan yang akan dibangun meliputi tiga buah layer yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Jumlah input layer tergantung pada data sekunder yang diperoleh. Sedangkan untuk jumlah *node* pada *hidden layer* ditentukan berdasarkan hasil percobaan dimana jumlah *node* yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses pelatihan tidak dapat menghasilkan bobot yang stabil, namun jumlah *node* yang terlalu banyak akan menyebabkan proses pelatihan menjadi lebih lambat. Setelah nilai bobot diketahui kemudian nilai bobot disimpan sebagai nilai bobot yang akan digunakan untuk proses *feedforward* pada jaringan sehingga target outputnya dapat diketahui.

3.5 Pengujian dan Analisis Sistem E-nose

Penelitian ini mengacu kepada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Fadhlilah (2019) tentang sistem *e-nose* yang meneliti tentang diabetes mellitus. Penelitian ini akan menguji coba dari penelitian sebelumnya dengan melakukan pengujian menggunakan sampel yang berbeda. Pengujian dan analisis sistem *e-nose* ini dilakukan untuk mengetahui jaringan syaraf tiruan dapat mengenali profil gas dengan baik. Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi terhadap model jaringan syaraf tiruan yang telah dibuat dengan cara melakukan pengujian terhadap data yang berbeda dari data yang digunakan pada proses pelatihan JST. Analisa dilakukan dengan membentuk *confusion matrix* seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3. 2**

Tabel 3. 2 Rancangan Tabel *confusion matrix*

No	Jenis Kopi Lampung Sebenarnya	Jenis Kopi Lampung Hasil Prediksi
1	Robusta asli	
2	Robusta dan beras	
3	Robusta dan jagung	

Dari **Tabel 3. 2** dapat dicari nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, presisi, dan nilai prediksi negatif dari setiap model JST yang diperoleh dari hasil penelitian. Hasil perhitungan data *binary confusion matrix* kemudian ditampilkan pada **Tabel 3.3**

Tabel 3. 3 Rancangan Tabel *binary confusion matrix*

No	Jenis Kopi Lampung Sebenarnya	Jenis Kopi Lampung Hasil Prediksi		
1	Robusta asli	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=
2	Robusta dan beras	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=
3	Robusta dan jagung	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Keaslian kopi Robusta dapat diidentifikasi dengan sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* dengan *error* pada penelitian ini adalah 5,3%.
2. Respon keluaran masing-masing sensor dapat dikenali untuk uji kopi dengan sistem *e-nose* sehingga PCA mampu mengklasifikasikan data baik pada data latih sebesar 72,52% maupun data uji sebesar 80,02%.
3. Hasil respon dapat dianalisis untuk deteksi keaslian kopi Robusta dengan sistem *e-nose* menghasilkan *output* yang optimal pada node *hidden layer* 4, dengan parameter JST seperti sensitivitas sebesar 91%, spesifisitas sebesar 96%, akurasi sebesar 94%, prediksi negatif sebesar 96%, dan presisi sebesar 92%. Sehingga didapatkan persentase JST rata-rata sebesar 94%.

5.2 Saran

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

1. Menggunakan sensor yang lebih selektif terhadap aroma kopi robusta asli, robusta *mix* beras dan kopi robusta *mix* jagung untuk meningkatkan sensitivitas *e-nose*.
2. Lebih berhati-hati dalam proses memasukkan gas kopi ke dalam *chamber e-nose* pada masing-masing sampel.
3. Membersihkan *chamber e-nose* dengan maksimal sampai grafik respon tegangan sensor kembali ke titik awal sebelum diberi gas.

4. Menyusun alat dengan lebih presisi dan memperhatikan tempat pengambilan data untuk mengurangi *noise* yang mengganggu keakuratan data gas kopi yang diambil.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. 2018. *5 Faktor Utama Penyebab Buah Kopi Rontok*. Available at: <https://kopinian.blogspot.com>. Diakses pada 8 April 2021 Pukul 20.00.
- Asmarianti., Alwi, Wahidah., & Sauddin, Adnan. 2022. Pengembangan Media Pembelajaran Analisis Komponen Utama Berbasis Web Menggunakan Shiny R. *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya*. Vol 10(2).
- Astuti, W. and Adiwijaya, A. 2019. Principal Component Analysis Sebagai Ekstraksi Fitur Data Microarray Untuk Deteksi Kanker Berbasis Linear Discriminant Analysis. *Jurnal Media Informatika Budidarma*. Vol. 3 no. 2 pp. 72–77.
- Berna, A. Z., Lammertryn., J., Saevels., S., Natale, C. Di and Nicolai, B. M. 2010. Electronic Nose Systems To Study Shelf Life And Cultivar Effect On Tomato Aroma Profile. *Sensors and Actuators*. Vol. 97 no. 2. pp. 324–333.
- Chang, P., & Shih, J. 2002. The Application of Back Propagation Neural Network of Multi-channel Piezoelectric Quartz Crystal Sensor for Mixed Organic Vapours. *Journal of Science and Engineering*, 5(4), 209–217.
- Fadhillah, R. 2019. *Rancang Bangun Sistem Electronic Nose Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation untuk Mendeteksi Penyakit Diabetes Militus*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandarlampung. 32-40 pp.
- Gaeki. 2018. *Industri Kopi*. http://www.aekiaice.org/industri_kopi_aeki.html.

Diakses pada 14 Maret 2022 Pukul 20.30.

- Gilat, A. 2011. *MATLAB An Introduction with Application*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Hasbullah, U. H. A., Umiyati, R. and Nurdyansyah, F. 2018. *Eksplorasi Sifat Fungsional Kopi: Pengaruh Jenis Kopi Terhadap Senyawa Bioaktif, Respon Glukosa Darah, Dan Indeks Glikemik*. Semarang: UPGRIS Press.
- Hasrianti. 2017. *Data Kandungan Gizi Bahan Pangan Pokok dan Penggantinya*. Makassar: Unhas Press.
- Hoffman, J. 2019. *The World Atlas of Coffee : From Beans to Brewing - Coffees Explored, Explained and Enjoyed*. Ontario: Firefly Books.
- Hua, B. and Gaoquan, S. 2006. *Gas Sensors Based on Conducting Polymers*. Beijing: National War Collage.
- Hulda, M. and Munawar, A. A. 2019. Deteksi Bubuk Kopi Luwak Murni dan Bubuk Kopi Luwak Campuran Dengan Teknologi Hidung Elektronik, *J-Eltrik*. Vol. 4 pp. 105–114.
- Jati, H. A. P. and Lelono, D. 2013. Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis Array Sensor Gas. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*. Vol 3 no. 2 pp. 147–156.
- Jiri, J. and Josowicz, M. 2002. *Conducting Polymers In Electronic Chemical Sensors*. Amsterdam: QLC Publisher.
- Lamsel, Diskominfo. Produk "Kopi Pinang" Desa Karang Raya, Menarik Perhatian Pengunjung pada Acara Merbau Mataram Fair. Diambil dari <https://www.lampungselatankab.go.id/web/2023/02/23/produk-kopi-pinang-desa-karang-raya-menarik-perhatian-pengunjung-pada-acara-merbau-mataram-fair/>
- Lintang, C. A., Widodo, T. W. and Lelono, D. 2016. Rancang Bangun Electronic

- Nose untuk Mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*. Vol 6 pp. 129.
- Marco, S. and Gutierrez-Galvez, A. 2012. Signal And Data Processing For Machine Olfaction And Chemical Sensing: A Review. *IEEE Sensors Journal*. Vol. 12 no. 11 pp. 3189–3214.
- Marek, G., Dobrzański, B., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Ćwikła, D. and Rusinek, R. 2020. Detection and differentiation of volatile compound profiles in roasted coffee arabica beans from different countries using an electronic nose and GC-MS. *Sensors Switzerland Journal*. Vol. 20 pp. 7.
- Mazen and Mazhat. 2019. Atrial Fibrillation : Risk Factors and Comorbidities in a Tertiary Center in Jeddah. *IEEE Sensors Journal*. Vol. 12 no. 11.
- Mia, M. R., Mia, M. J., Majumder, A., Supriya, S., & Habib, M. T. (2019). Computer vision based local fruit recognition. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 9(1): 2810–2820.
- Nurfauziah, Zahara. 2024. Manfaatkan Hasil Tanik Jagung, Mahasiswa KKN Produksi Kopi Jagung. Diambil dari <https://www.unila.ac.id/manfaatkan-hasil-tani-jagung-mahasiswa-kkn-produksi-kopi-jagung/>
- Nugroho, J., Muryani, D., Rahayoe, S. and Bintoro, N. 2016. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Identifikasi Aroma Teh Menggunakan Electronic Nose. *Nasional Teknik Elektro*. Vol. 5 no. 3 pp. 18–19.
- Oates, M. J., Fox., P., Sanchez-Rodriguez., L., Carbonell-Barrachina, Á. A. and Ruiz-Canales. 2018. DFT Based Classification Of Olive Oil Type Using A Sinusoidally Heated, Low Cost Electronic Nose. *Computers and Electronics in Agriculture* Vol. 155 pp. 348–358.
- Pardo, M., Niederjaufner., Benussi., G., Comini., G., Faglia., E., Sberveglieri and G.Lundstrom, G. 2000. Data Preprocessing Enhances The Classification Of

Different Brands Of Espresso Coffee With An Electronic Nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. Vol. 69 no. 3 pp. 397–403.

Putri, D. Lufiana., Pratiwi, I. Esti., 2022. Ramai Soal Resep Kopi Campur Tepung Beras Agar Kafein dan Nyaman di Lampung. Diambil dari <https://www.kompas.com/tren/read/2022/11/02/192500565/ramai-soal-resep-kopi-campur-tepung-beras-agar-kafein-aman-dan-nyaman-di?page=all>

Rabersyah, D., Firdaus and Derisma. 2016. Identifikasi Jenis Bubuk Kopi Menggunakan Electronic Nose. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. Vol. 5 no. 3 pp. 332–338.

Sari, G. Y., Wildian, W. and Firmawati, N. 2018. Rancang Bangun Sistem Electronic Nose (E-Nose) Untuk Deteksi Sampel Kanker Payudara Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*. Vol. 10 pp. 1–10.

Sembiring, S. A., Marbun, P. and Lubis, K. S. 2016. Kajian Jumlah Biji Basah Dan Berat Biji Basah Kopi Robusta (Coffee Robusta Lindl.) Pada Beberapa Ketinggian, Kemiringan Lereng Dan Jenis Tanah Di Kecamatan Silima Pungga-Pungga Kabupaten Dairi. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*. Vol. 4 no. 1 pp. 1857–1864.

Shilbayeh, N. F., Iskandarani., M. Z., O.Box., P. and Code, P. 2004. Quality Control of Coffee Using an Electronic Nose System. *American Journal of Applied Sciences*. Vol. 1 no. 2 pp. 129–135.

Tan, J. and Xu, J. 2020. Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. *Artificial Intelligence Journal*. Vol 4 pp. 104–115.

Ulfa, M., Haryanto, H. and Wibisono, K. A. 2019. Desain Sistem Pengenalan Dan Klasifikasi Kopi Bubuk Bermerek Dengan Menggunakan Electronic Nose Berbasis Artificial Neural Network (ANN). *Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Informatika, Sistem Kontrol (J-Eltrik)*. Vol. 1 pp.

51–60.

Wuryandari, M. D. and Afrianto, I. 2012. Perbandingan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Dan Learning Vector Quantization Pada Peng Wajah. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*. Vol 1 pp. 45–51.