

**APLIKASI SISTEM *ELECTRONIC NOSE* MENGGUNAKAN JARINGAN
SYARAF TIRUAN DENGAN METODE *BACK PROPAGATION* UNTUK
MENDETEKSI SISTEM PENGENALAN AROMA TEH**

(Skripsi)

Oleh

Maya Oktia Sari



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

ABSTRACT

NOSE ELECTRONIC SYSTEM APPLICATION USING IMITATION NERVE NETWORK WITH BACK PROPAGATION METHOD TO DETECT TEA AROMA RECOGNITION SYSTEM

By

Maya Oktia Sari

The application of the Electronic Nose (e-nose) system using an Artificial Neural Network (ANN) with back propagation method aims to identify four aromas of tea, namely black tea, green tea, oolong tea and white tea. The research phase includes collecting initial test data, grouping samples with Principal Component Analysis (PCA), ANN training, testing data, and analyzing results. The e-nose system uses MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, and TGS-822 gas sensors for data collection. Correlation of sensor response data for each tea aroma so that PCA is able to classify data both on training data of 83.38% and data testing of 80.15%. The ANN training process uses 5 input neurons, 5 hidden layer neurons as the highest and best hidden layer detected, and 4 output neurons. The entire value of each parameter of the ANN model, namely accuracy, precision, sensitivity, specificity and negative prediction has a value greater than 95.0% for both data training and testing, which means the recognition rate is detected very well.

keywords : *Electronic nose, artificial neural network (ANN), back propagation, hidden layer, Principal Component Analysis*

ABSTRAK

APLIKASI SISTEM ELECTRONIC NOSE MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN DENGAN METODE BACK PROPAGATION UNTUK MENDETEKSI SISTEM PENGENALAN AROMA TEH

Oleh

Maya Oktia Sari

Penerapan sistem *Electronic Nose (e-nose)* menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan metode *back propagation* bertujuan untuk mengenali empat aroma teh, yaitu teh hitam, teh hijau, teh oolong dan teh putih. Tahap penelitian meliputi pengambilan data uji awal, pengelompokkan sampel dengan *Principal Component Analysis (PCA)*, pelatihan JST, pengujian data, dan analisis hasil. Sistem *e-nose* menggunakan sensor gas MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822 untuk pengambilan data. Korelasi data respon sensor untuk masing-masing aroma teh sehingga PCA mampu mengklasifikasikan data baik pada pelatihan data sebesar 83,38% maupun pengujian data sebesar 80,15%. Proses pelatihan JST menggunakan 5 neuron masukan, 5 neuron *hidden layer* sebagai *hidden layer* tertinggi dan terbaik dari yang terdeteksi, dan 4 neuron keluaran. Seluruh nilai setiap parameter model JST yaitu akurasi, presisi, sensitivitas, spesifisitas dan prediksi negatif yang memiliki nilai lebih besar dari 95,0% untuk pelatihan data maupun pengujian yang berarti tingkat pengenalan terdeteksi dengan sangat baik.

Kata kunci : *Electronic nose*, jaringan syaraf tiruan (JST), *back propagation*, *hidden layer*, *Principal Component Analysis*

**APLIKASI SISTEM ELECTRONIC NOSE MENGGUNAKAN JARINGAN
SYARAF TIRUAN DENGAN METODE BACK PROPAGATION UNTUK
MENDETEKSI SISTEM PENGENALAN AROMA TEH**

Oleh

MAYA OKTIA SARI

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
2022**

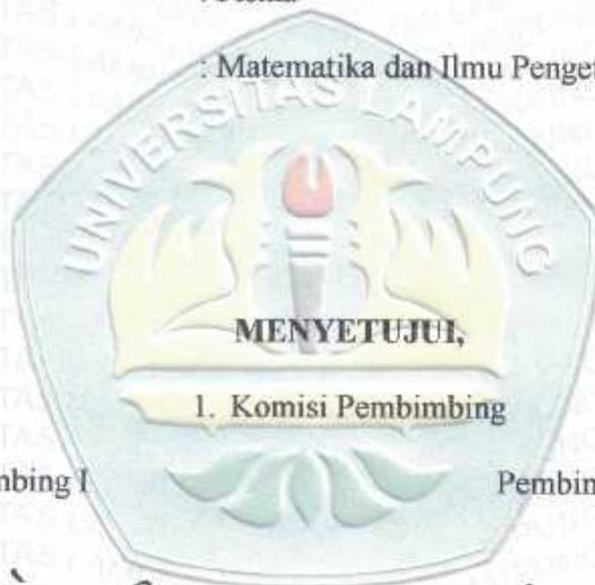
Judul Penelitian : APLIKASI SISTEM *ELECTRONIC NOSE*
MENGUNAKAN JARINGAN SYARAF
TIRUAN DENGAN METODE *BACK*
PROPAGATION UNTUK MENDETEKSI
SISTEM PENGENALAN AROMA TEH

Nama Mahasiswa : Maya Oktia Sari

Nomor Pokok Mahasiswa : 1717041020

Jurusan : Fisika

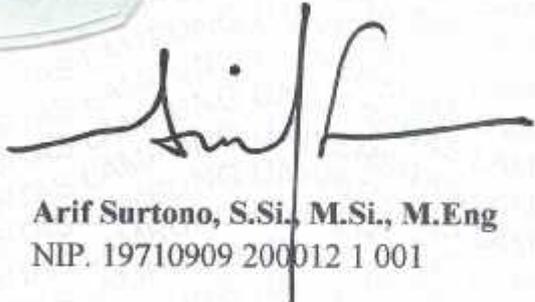
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



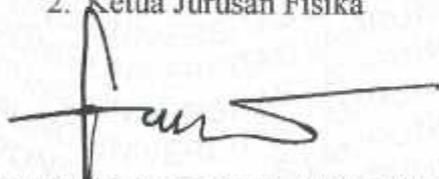
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 19631228 1986102001


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng
NIP. 19710909 200012 1 001

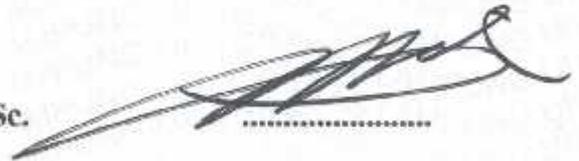
2. Ketua Jurusan Fisika


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



**Penguji
Bukan Pembimbing : Sriwahyu Suciyati, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Sripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juni 2022

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, 13 Juni 2022



Handwritten signature of Maya Oktia Sari.

Maya Oktia Sari
NPM. 1717041020

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Maya Oktia Sari. Penulis dilahirkan di Suro pada 25 Oktober 2000. Penulis merupakan anak dari pasangan Alm. Mukti dan Maryana. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Muhammadiyah Suro pada 2011, SMPN 1 Muara Beliti pada 2014, dan SMAN 2 Muara Beliti 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 Komunikasi dan Informasi HIMAFI FMIPA Unila pada tahun 2017. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jakarta Pusat pada tahun 2019 di bagian Instrumentasi, Kalibrasi, Rekayasa dan Jaringan Komunikasi dengan judul laporan **“Kalibrasi Digital Storage Oscilloscope GW-Instek GDS-3345 menggunakan Multiproduct Calibrator Transmille 3041 dengan Metode Komparasi”**. Penulis juga melaksanakan Kerja Kuliah Nyata (KKN) Putri Daerah Universitas Lampung Periode II tahun 2020 di desa Suro, kecamatan Muara Beliti, kabupaten Musi Rawas. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Fisika Lingkungan dan praktikum Optika.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohiim...
Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT.
Ku persembahkan skripsi ini kepada:

Orangtuaku : Alm.Mukti dan Maryana serta Nanang Suryana yang selalu menjadi inspirasi hidup, motivator, dan orangtua paling hebat di dunia.

Saudaraku : Adi Rima Febriansyah, Pengki Freno, Liana Agustian Sari, Habibi, Febri Yanti, Tris, Sri Mulyati, Neti, Rodiah dan Siti Nuryani atas kasih sayang, dukungan, dan semangat sehingga aku dapat mencapai semua ini.
Seluruh keluarga yang selalu memberikan motivasi

Almamater tercinta

Universitas Lampung

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”

Al-Insyirah: 6-8

Jika kemarin kamu berhasil lewati, hari ini, besok dan hari-hari kedepannya juga pasti bisa kamu lewati.

SEMANGAT

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Aplikasi Sistem Electronic Nose menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation untuk Mendeteksi Sistem Pengenalan Aroma Teh”**. 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, 13 Juni 2022

Penulis,

Maya Oktia Sari

SANWACANA

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. Oranguaku Alm.Mukti dan Maryana serta Nanang Suryana yang selalu menjadi inspirasi hidup, motivator, dan orangtua paling hebat di dunia.
2. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing pertama yang selalu membimbing, menyemangati, dan memberikan ilmu baru dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku pembimbing kedua skripsi yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku ketua jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, dan selaku pembimbing akademik yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku pembahas yang senantiasa mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi ini.

6. Seluruh dosen jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama kuliah.
7. Kakak Rizki Fadhillah yang senantiasa membantu dan mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Saudaraku Adi Rima Febriansyah, Pengki Freno, Liana Agustian Sari, Habibi, Febri Yanti, Tris, Sri Mulyati, Neti, Rodiah dan Siti Nuryani atas kasih sayang, dukungan, dan semangat sehingga aku dapat mencapai semua ini.
9. Seluruh keluarga ku yang selalu memberikan motivasi
10. Jaki Syap yang selalu menemaniku dan berbagi keluh kesah bersama.
11. Anies Lutfhi, Hartini Ningsih, Ilda Maya Sari, Jessy Oktayuliasari, Larasati Handayani, Mayang Shavira dan Saadah Mujahidah yang selalu memberikan motivasi dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
12. Teman - teman Fisika angkatan 2017 yang selalu memberi semangat selama perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan skripsi ini.

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

Bandarlampung, 13 Juni 2022

Penulis,

Maya Oktia Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Teori Dasar	16

2.2.1	Teh.....	16
2.2.1.1	Teh Hijau (<i>Green tea</i>)	18
2.2.1.2	Teh Hitam (<i>Black Tea</i>).....	20
2.2.1.3	Teh Oolong (<i>Oolong Tea</i>).....	21
2.2.1.4	Teh Putih (<i>White Tea</i>)	22
2.2.2	<i>Electronic Nose (E-nose)</i>	23
2.2.3	Jaringan Syaraf Tiruan (JST).....	26
2.2.4	Metode <i>Back Propagation</i>	32
2.2.5	<i>Software Matrix Laboratory (Matlab)</i>	38
2.2.6	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	39
METODE PENELITIAN		52
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	52
3.2	Alat dan Bahan	53
3.3	Prosedur Penelitian.....	54
3.4	Pengujian dan Analisis Sistem	59
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		62
4.1	Sistem Kerja JST.....	62
4.2	Metode PCA	68
4.3	Pelatihan Data	72
4.3.1	Penentuan <i>Hidden Layer</i>	72
4.3.2	Analisa Kinerja Pelatihan JST.....	75
4.3.2.1	Pendekatan 1 <i>Hidden Layer</i>	75
4.3.2.2	Pendekatan 2 <i>Hidden Layer</i>	76
4.3.2.1	Pendekatan 3 <i>Hidden Layer</i>	78
4.3.3	Perbandingan Nilai setiap Parameter	79
4.5	Pengujian Data	84
KESIMPULAN DAN SARAN		87
5.1.	Kesimpulan.....	87
5.2.	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN.....		93

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Respons sensor terhadap variasi suhu.....	10
Gambar 2. 2 Perancangan Blok Diagram	13
Gambar 2. 3 Perancangan Perangkat Keras.....	14
Gambar 2. 4 Respons sensor saat siklus pengukuran	15
Gambar 2. 5 Proses pengolahan teh	18
Gambar 2. 6 Diagram blok sistem <i>e-nose</i>	24
Gambar 2. 7 Tipe JST.....	28
Gambar 2. 8. Fungsi Aktivasi.....	29
Gambar 2. 9 Arsitektur Jaringan Backpropagation	32
Gambar 2. 10 Arsitektur neuron tunggal.....	35
Gambar 2. 11 Ordinasi sampel	48
Gambar 2. 12 Plot skor PCA	50
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	55
Gambar 3. 2 Skema Rancangan <i>E-nose</i>	56
Gambar 3.3. Diagram alir perancangan JST.....	58
Gambar 4.1 Tampilan GUI respon sensor <i>real time</i>	62
Gambar 4.2 Grafik respon sensor pada data latih.....	66
Gambar 4.3 Grafik respon setiap sensor pada data uji	67
Gambar 4.4. <i>Principal component analysis</i> (PCA) data latih	68

Gambar 4.5 Arsitektur JST Data Latih.....	70
Gambar 4.6 <i>Principal component analysis</i> (PCA) Data Uji	71
Gambar 4.7 Grafik nilai akurasi	80
Gambar 4.8 Grafik nilai presisi	80
Gambar 4.9 Grafik nilai sensitivitas	81
Gambar 4.10 Grafik nilai spesifisitas	82
Gambar 4.11 Grafik nilai prediksi negatif.....	82

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Kegiatan pelaksanaan penelitian	52
Tabel 3. 2 Jenis sensor gas beserta fungsinya	53
Tabel 3. 3 Rancangan Tabel <i>confusion matrix</i>	60
Tabel 3. 4 Rancangan Tabel <i>binary confusion matrix</i>	60
Tabel 4. 1 Nilai persentase sensor gas pada pelatihan data.....	69
Tabel 4. 2 Nilai persentase sensor gas pada pengujian data.....	72
Tabel 4. 3 Jumlah <i>neuron hidden layer</i> berdasarkan HMLP.....	73
Tabel 4. 4 keseluruhan hasil nilai akurasi pelatihan JST	74
Tabel 4. 5 <i>Confusion matrix</i> JST pada 4 <i>neuron hidden layer</i>	75
Tabel 4. 6 <i>Binary confusion matrix</i> pada 4 <i>neuron hidden layer</i>	76
Tabel 4. 7 <i>Confusion matrix</i> JST pada 5 <i>neuron hidden layer</i>	76
Tabel 4. 8 <i>Binary confusion matrix</i> pada 5 <i>neuron hidden layer</i>	77
Tabel 4. 9 <i>Confusion matrix</i> JST pada 9 <i>neuron hidden layer</i>	78
Tabel 4. 10 <i>Binary confusion matrix</i> pada 9 <i>neuron hidden layer</i>	79
Tabel 4. 11 Nilai akurasi setiap <i>hidden layer</i>	79
Tabel 4. 12 Nilai presisi setiap <i>hidden layer</i>	80
Tabel 4. 13 Nilai sensitivitas setiap <i>hidden layer</i>	81
Tabel 4. 14 Nilai spesifisitas setiap <i>hidden layer</i>	81
Tabel 4. 15 Nilai prediksi negatif setiap <i>hidden layer</i>	82

Tabel 4. 16 Rangkuman keseluruhan parameter data latih.....	83
Tabel 4. 17 <i>Confusion matrix</i> data uji	84
Tabel 4. 18 <i>Binary confusion matrix</i> data uji	85
Tabel 4. 19 Nilai rerata parameter data uji	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor Pertanian Indonesia memiliki kontribusi yang cukup penting terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) yaitu $\pm 12,72$ % dalam tahun 2019 sehingga menempatkan sektor Pertanian pada urutan ketiga diantara lainnya. Pada sector pertanian, salah satu sub sektor yang cukup besar potensinya adalah sub sektor perkebunan. Kontribusi sub sektor perkebunan dalam PDB yaitu sekitar 3,27 persen terhadap total PDB dan 25,71 persen terhadap sektor Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan atau merupakan urutan pertama di sektor tersebut. Sub sektor ini merupakan penyedia bahan baku untuk sektor industri, penyerap tenaga kerja, dan penghasil devisa (Suhariyanto, 2019).

Berdasarkan data *Food and Agriculture Organization (FAO)*, pada tahun 2018 negara Indonesia menghasilkan produksi teh sebesar 140.236 ton. Jumlah tersebut menempatkan Indonesia sebagai negara penghasil teh terbesar ketujuh di dunia (Ralisnawati et al., 2018). Beberapa jenis teh yang terdapat di Indonesia yaitu teh hijau, teh hitam, teh putih dan teh oolong. Teh hitam merupakan teh dengan rendemen tertinggi yaitu sekitar 78%, disusul teh hijau dengan 20%, dan diikuti teh oolong serta teh putih (Rohdiana, 2015). Teh hitam pada umumnya di-

manfaatkan untuk relaksasi, dan teh hijau dipilih konsumen yang dipercaya memiliki manfaat kesehatan (Nugraha et al., 2017). Sebagaimana kita ketahui sekarang ini bahwa teh tidak hanya dimanfaatkan sebagai bahan minuman saja, melainkan juga telah dimanfaatkan sebagai bahan untuk kosmetika baik untuk perawatan kulit maupun rambut. Teh memiliki nilai lebih dibandingkan dengan minuman lainnya, mengingat teh kaya akan mineral dan vitamin yang diperlukan oleh tubuh (Suhariyanto, 2019).

Teh telah menjadi minuman yang populer di dunia setelah air mineral. Komoditas pasar teh yang diekspor sebanyak 60% dan untuk pasar dalam negeri hanya menyerap 40% dari produksi teh nasional. Hal ini menunjukkan bahwa teh Indonesia menjadi salah satu komoditas ekspor yang cukup penting sebagai penghasil devisa negara selain minyak dan gas (Nugraha et al., 2017). Selain peluang ekspor yang semakin terbuka, pasar teh dalam negeri masih cukup besar meskipun belum digali secara maksimal. Peluang pasar dalam negeri akan semakin terbuka, bila diikuti dengan peningkatan mutu teh, perluasan jangkauan pemasaran ke daerah-daerah dan yang tidak kalah pentingnya melakukan diversifikasi produk yang sesuai dengan perubahan selera masyarakat (Suhariyanto, 2019).

Proses dan kontrol kualitas aroma teh pada industri teh konvensional sepenuhnya ditentukan oleh para ahli penciuman. Namun, sistem indra penciuman biasanya bersifat subjektif karena mudah dipengaruhi kondisi fisik dan psikis dari penguji aroma teh (Lelono et al., 2016). Karena ada sejumlah besar senyawa aromatik yang ada dalam teh, maka sulit untuk memproses teh dengan standar yang dapat diterima. Aroma dan rasa adalah dua faktor kualitas teh yang bergantung pada

jumlah senyawa volatil yang ada dan rasionya. Oleh karena itu, dalam pencicipan konvensional sangat sulit untuk menjaga konsistensi dalam standar kualitas teh selama proses produksi (Blanco-Rodríguez et al., 2018).

Salah satu sifat penting dalam mengukur kualitas suatu teh adalah aroma yang dimiliki oleh masing-masing jenis teh (Putra et al., 2016). Penentuan kualitas teh dalam industri besar dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa instrumen seperti seperti *Gas Chromatography (GC)* dan *Mass Spectrometry (MS)*. Peralatan analitik kimia tersebut membutuhkan ahli dalam menganalisis hasil. Permasalahan pada penentuan kualitas teh diantaranya terdapat pada sulitnya pemantauan pada sampel secara kontinu (*continuous monitoring*) untuk industri makanan, harga alat relatif mahal, tidak *portable* dan memerlukan waktu yang cukup lama dalam menganalisis (*time consuming*) (Ezhilan et al., 2018; Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2018). Lahirnya sebuah instrumen *electronic nose (e-nose)* menjadi solusi dari permasalahan tersebut karena murah, portable, cepat, dan mudah dalam mengoperasikannya serta dapat mengidentifikasi campuran gas volatil dari sampel organik secara keseluruhan tanpa harus mengetahui tiap unsur senyawa pembentuknya (Sun et al., 2018).

Selama empat dekade terakhir banyak penelitian yang bertujuan mengembangkan sistem elektronik penciuman atau hidung elektronik. Selama itu, sistem deteksi bau otomatis telah diterapkan di banyak aplikasi industri, pertanian, kualitas udara dalam ruangan, pemantauan lingkungan, pengendalian kualitas produk makanan, diagnosis medis, dan banyak lagi lainnya. Di sisi lain, beberapa perkembangan hidung elektronik menghasilkan sejumlah produk *e-nose* komersial yang telah

diarahkan pada perancangan biaya rendah (Macías et al., 2014). *E-nose* merupakan instrumen berbasis sensor-sensor gas kimia yang tak selektif (*unselected*), tergabung dalam sebuah larik sensor gas, digunakan untuk mendeteksi aroma (odor) sederhana maupun kompleks (Rodríguez et al., 2018).

Penggunaan alat *e-nose* untuk mengidentifikasi aroma teh telah dilakukan oleh beberapa penelitian seperti pada penelitian Putra et al. (2016) *e-nose* yang digunakan memiliki sensor gas TGS 2602, TGS 2620, TGS 2610, TGS 2622, dan TGS 822. Sampel yang diuji yaitu teh hitam, teh hijau, teh melati, dan teh oolong. Jenis-jenis teh diklasifikasi menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST) *back propagation* dengan 5 *node input*, 6 *node hidden layer*, dan 2 *node output*. Pada penelitian lainnya, Lelono et al. (2016) mengklasifikasikan kualitas teh dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). Perangkat *e-nose* dinamis berbasis sensor gas *Metal Oxide Sensor* (MOS) digunakan oleh Inca et al. (2018) untuk sampel teh hijau dan teh hitam yang berasal dari Tambi dan Pagilaran dengan ekstraksi ciri. Inovasi *e-nose* telah dikembangkan oleh Ralisnawati et al. (2018) untuk mendeteksi perubahan aroma teh hijau dengan ditambahkan rasa jahe (99,6%), serai (99,3%) dan jeruk (99,4%).

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut maka penulis akan mengimplementasikan JST dengan metode *back propagation* serta metode PCA untuk melakukan klasifikasi jenis-jenis teh yang berbeda yaitu teh hitam, teh hijau, teh oolong dan teh putih. Sistem *e-nose* yang digunakan juga memiliki perbedaan dengan dilengkapinya sensor gas MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822 untuk pengambilan data. Sensor MQ-3, TGS-2600, dan TGS-2602

mendeteksi adanya kandungan gas alkohol, amonia, hidrogen sulfida, dan karbon monoksida pada teh. Sedangkan untuk TGS-2611 dan TGS-822 mendeteksi adanya kandungan gas metana dan butana pada teh (Fadhilillah, 2019; Putra et al., 2016).

Teh dengan jenis berbeda memiliki aroma yang hampir sama, oleh karena itu untuk membedakan teh berdasarkan jenisnya diperlukan pengenalan pola dengan menggunakan *e-nose*. Agar dapat dikenali, sinyal respons dari *e-nose* harus diekstraksi cirinya terlebih dahulu dengan menggunakan PCA. Perbedaan ekstraksi masing-masing jenis teh yang digunakan mempengaruhi ciri dari teh yang didapatkan. Program ekstraksi ciri dengan metode yang telah dibuat dengan *Matlab*. Data yang diperoleh dari proses pelatihan akan diolah menggunakan JST. Metode JST yang digunakan adalah *back propagation* yang dibuat dengan *software Matlab 2015a*. Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis menetapkan judul Tugas Akhir yaitu “Aplikasi Sistem *Electronic Nose* menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode *Back Propagation* untuk Mendeteksi Sistem Pengenalan Aroma Teh”.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana penerapan sistem *e-nose* menggunakan metode JST dengan metode *back propagation* untuk mengenali beberapa aroma teh yaitu teh hitam, teh hijau, teh putih dan teh oolong?.

2. Bagaimana menganalisa pola yang terbentuk menggunakan PCA?.
3. Bagaimana membuat program JST mengenali beberapa jenis aroma teh dengan *e-nose* ?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menerapkan sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* untuk mengenali beberapa jenis aroma teh yaitu teh hitam, teh hijau, teh putih dan teh oolong.
2. Menganalisa pola yang terbentuk menggunakan PCA.
3. Membuat program JST untuk mengenali beberapa jenis aroma teh dengan *e-nose*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terealisasinya sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* untuk mendeteksi aroma beberapa jenis aroma teh.
2. Sebuah alternatif instrumen yang mampu membedakan aroma beberapa jenis aroma teh.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode JST pada penelitian ini menggunakan metode *back propagation*.

2. Sensor gas yang digunakan adalah MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822.
3. *E-nose* dilatih untuk dapat membedakan aroma beberapa jenis aroma teh yaitu teh hitam, teh hijau, teh putih dan teh oolong.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

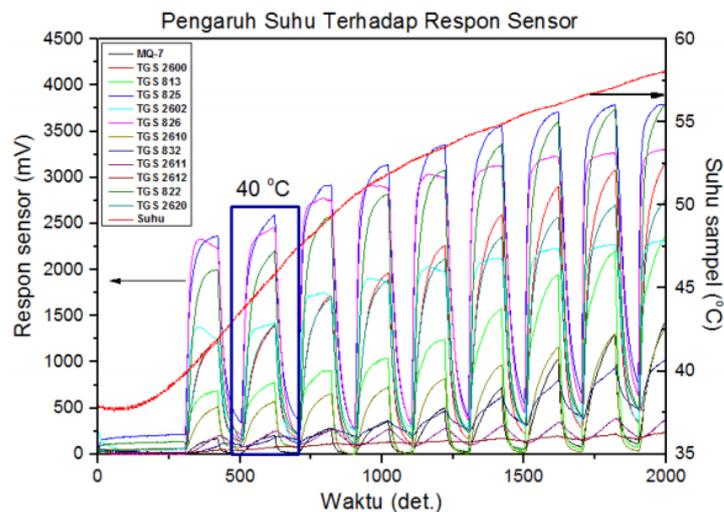
2.1 Penelitian Terdahulu

Fadhlillah (2019) *E-nose* adalah sistem penciuman biometrik yang dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip sensor kimia, berbasis perancangan sistem elektronik, dan teknik analisis data. Rancangan sebuah *e-nose* yang terdiri dari 5 sensor gas tipe MOS, arduino, dan komputer. Sensor gas yang dipakai adalah MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822. TGS-2602 terdiri dari sebuah *chip* penginderaan dengan lapisan semikonduktor oksida logam yang dibentuk pada substrat alumina dan memiliki *heater* yang terintegrasi. Jika diberi gas tertentu, konduktivitas sensor meningkat tergantung pada konsentrasi gas di udara. Sirkuit elektrik sederhana dapat mengubah perubahan konduktivitas menjadi sinyal *output* yang sesuai dengan konsentrasi gas. TGS-822 memiliki sensitivitas tinggi terhadap uap pelarut organik seperti etanol dan aseton. Sensor ini juga memiliki kepekaan terhadap berbagai gas yang mudah terbakar seperti karbon monoksida yang menjadikannya sebagai sensor dengan pengaplikasian yang luas. TGS-2611 memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap gas metana. Sensor ini juga memiliki kepekaan terhadap aseton dengan konsentrasi kecil. TGS 2600 memiliki sensitivitas tinggi terhadap konsentrasi rendah gas seperti hidrogen, karbon monoksida, dan etanol. TGS-2602 memiliki sensitivitas tinggi terhadap

konsentrasi rendah gas berbau seperti amonia dan H₂S yang dihasilkan dari bahan limbah di kantor dan rumah dan lingkungan. Sensor juga memiliki sensitivitas tinggi terhadap konsentrasi rendah VOC seperti toluena yang dipancarkan dari produk *finishing* kayu dan konstruksi. Selain TGS, pada penelitian ini juga menggunakan sensor gas merek MQ tipe MQ-3, Struktur sensor gas MQ tersusun oleh tabung keramik mikro Al₂O₃, lapisan sensitif Tin Dioxide (SnO₂), elektroda pengukuran dan pemanas. MQ-3 memiliki sensitivitas tinggi terhadap alkohol dan sedikit sensitif pada benzine (Fadhilillah, 2019).

Lelono et al. (2016) Sebuah *e-nose* dengan dua belas sensor gas berbasis *metal oxide semiconductor* (MOS) telah digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas teh hitam Indonesia. Sampel teh hitam diperoleh dari toko-toko teh lokal di Yogyakarta, antara lain kualitas pertama (Q1) atau BOP (*Pokoe* Jeruk Pecah), kualitas kedua (Q2) atau BPII (*Pokoe* Rusak II) dan kualitas ketiga (Q3) atau *Bohea*. Untuk setiap sampel teh kering diuji sebanyak 31 kali, pada suhu (40,0 ± 1,0) C tanpa perlakuan apapun dan dianalisis dengan analisis komponen utama tanpa pengawasan (PCA). Hasil percobaan menunjukkan bahwa ketiga sampel hampir memiliki aroma yang sama jika dilihat dari respon sensor. Perbedaan dari sampel aroma terletak pada respon sensor dari intensitas sinyal dan dapat diklasifikasikan dengan jelas oleh PCA dengan komponen utama pertama dan kedua menyumbang 80,3% dan 15,3% dari varians, masing-masing. Selain itu, analisis PCA menunjukkan bahwa sampel Q2 mendekati Q1 dan Q3. Ini menunjukkan bahwa unsur penyusun teh hitam yang kecil di Q1 dan Q3 juga terkandung di Q2. Hasil keseluruhan *e-nose* dengan sensor gas nonselektif dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas teh hitam Indonesia dengan baik.

Lelono dan Triyana (2019) Optimasi suhu pemanas sampel teh hitam untuk pengukuran aroma dengan *e-nose* telah berhasil dilakukan. Pemanasan sampel diperlukan karena teh hitam memiliki intensitas aroma yang rendah dan mudah hilang. Sehingga untuk mendapatkan respon sensor hasil transformasi aroma tidak rusak diperlukan suhu pemanas yang selektif. Metode untuk mendapatkan suhu pemanas optimal tersebut dilakukan dengan menganalisis respon sensor yang dihasilkan. Konsistensi dan perubahan pola terbentuk dari respon sensor pada tiap perubahan suhu dibandingkan agar diperoleh suhu pemanas optimal. Sampel terukur divariasi suhunya (30 – 60 °C) sehingga dihasilkan respons sensor dengan pola teramati.



Gambar 2. 1 Respons sensor terhadap variasi suhu (Lelono & Triyana, 2019).

Perubahan pola mengindikasikan terjadi perubahan aroma akibat pembakaran. Setelah suhu optimal diperoleh selanjutnya teh hitam (50 gr) *Broken Orange Pokoe*, *Broken Pokoe II* dan *Bohea* dengan total sampel 300 kantong diukur aromanya dengan *e-nose*. Hasil klasifikasi dengan metode PCA sebagai bukti optimasi suhu pemanasan sampel berhasil dilakukan. Hasil eksperimen

menunjukkan pemanasan sampel optimal untuk teh hitam 3 kualitas 40–45 °C. Kemudian dengan PCA ketiga sampel dapat diklasifikasi hingga 92,5% total varian data. Hal ini mengindikasikan aroma teh relatif konstan dan tidak terjadi perubahan pola. Variasi suhu 40 – 45 °C menghasilkan dua respon sensor dengan pola yang relatif sama namun berbeda intensitas, dimana suhu 45 °C intensitasnya lebih besar dibandingkan dengan suhu 40 °C. Adapun untuk suhu di atas 45 °C intensitas sinyal MQ-7 mengalami peningkatan, padahal pada sinyal respon sebelumnya posisi sinyal tersebut berada diantara TGS 832 dan TGS 2611. Hal ini menunjukkan telah terjadi perubahan pola pada respon sensor dimana ke tiga sensor M-Q7, TGS 832 dan TGS 2611 memiliki nilai puncak yang relatif sama. Perubahan pola dan peningkatan respon sensor juga terjadi pada suhu di atas 55 °C. Pada suhu ini intensitas MQ-7 lebih besar dari TGS 2610, demikian pula TGS 822 intensitasnya lebih besar dibanding TGS 825 dan intensitas TGS 813 lebih besar dibanding dengan TGS 2602. Lebih dari itu pemanasan sampel di atas suhu 55 °C aroma sampel teh terbakar (gosong) sudah sangat terasa.

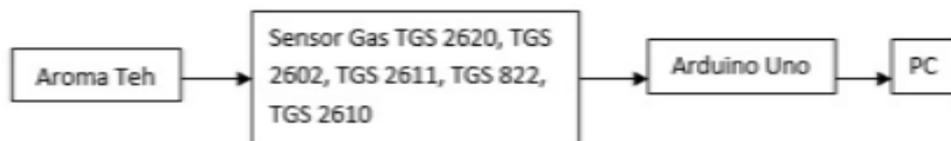
Ghosh et al. (2019) tahap fermentasi penting dalam pengolahan daun teh dipantau secara konvensional melalui persepsi penciuman dari pencicip teh. Kemajuan terbaru di bidang penciuman mesin telah menyaksikan munculnya *prototipe e-nose*, yang memberikan validasi ilmiah untuk estimasi organoleptik yang disebarkan oleh para pencicip. Namun, fermentasi adalah proses berkelanjutan yang membutuhkan pemantauan terus-menerus yang keberhasilan penyelesaiannya sangat bergantung pada identifikasi puncak aroma berbeda yang dipancarkan pada saat yang optimal. Karena proses fermentasi merupakan bagian integral dari kualitas akhir, maka akan bermanfaat jika periode fermentasi yang

optimal dapat diprediksi pada tahap sebelumnya. Informasi pencegahan tersebut dapat mengurangi kebutuhan pemantauan yang konstan dan penyimpangan konsentrasi sesaat. Menyadari sifat deret waktu dari data yang dihasilkan selama proses fermentasi dengan *prototipe e-nose*, penerapan jaringan Elman yang merupakan jaringan syaraf tiruan dengan tipe *ERNN*) dilakukan berulang untuk memprediksi periode fermentasi optimal untuk sampel teh hitam yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jaringan yang ditentukan dapat memprediksi periode optimal dengan keyakinan di tengah proses. Kesalahan minimal antara perkiraan dan periode fermentasi aktual di tengah jalan.

Hasanati & Meidelfi (2020) Perkembangan teknologi yang semakin pesat dan maju sehingga berdampak terciptanya alat atau sistem yang mampu bekerja seperti jaringan manusia, salah satu contohnya adalah sistem yang bekerja mirip dengan cara kerja hidung manusia atau *e-nose*. Dengan adanya bantuan sistem ini, maka dapat membantu mempermudah manusia dalam mengidentifikasi serta mengklasifikasikan bau yang tidak dapat tercium atau terdeteksi oleh hidung manusia serta dapat juga meningkatkan akurasi dan ketepatan dalam mengenali bau-bau yang ada. Cara kerja atau prinsip dari *e-nose* dalam mendeteksi bau yaitu dengan memanfaatkan berbagai reseptor-reseptor untuk dapat mengklasifikasikan bau dan masing-masing reseptor akan memberikan hasil respon atau *output* yang berbeda-beda dari satu jenis bau yang diuji. Pendekatan yang dilakukan pada pembuatan kajian ini adalah pengenalan pola yaitu belajar dari pola-pola atau contoh yang telah dicoba sebelumnya untuk dapat dikenali oleh sistem agar dapat mendapatkan hasil yang diinginkan atau sesuai target, untuk dapat membuat

sistem deteksi ini dibutuhkan metode yang mampu bekerja seperti jaringan manusia, metodenya yang sering digunakan adalah JST atau *Neural Network*.

Putra et al. (2016) *E-Nose* yang digunakan dengan sensor gas TGS 2602, TGS 2620, TGS 2610, TGS 2622, dan TGS 822. Teh yang digunakan dalam teh hitam, teh hijau, teh melati, dan teh oolong. Pola data diperoleh dari pembacaan data dari aroma teh yang diujikan. Pola data tersebut lalu diolah menggunakan metode *Back Propagation* dengan 5 node *input*, 6 node *hidden layer*, dan 2 node *output*. Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat yang digunakan dapat mendeteksi aroma teh dengan tingkat keberhasilan deteksi teh hitam 80%, teh hijau 100%, teh melati 90%, dan teh oolong 80%. Rancangan blok diagram yang mempunyai prinsip kerja pada input aroma teh akan diterima oleh beberapa set sensor gas. Ketika sensor mendeteksi aroma teh maka resistansi dari sensor akan berubah, dengan menggunakan rangkaian *signal conditioning* yang terdapat di arduino uno, sinyal akan dirubah kedalam bentuk tegangan. Kemudian sinyal ini akan dikonversikan ke dalam bentuk digital. Sinyal dalam bentuk digital inilah yang akan diteruskan ke PC. Ilustrasi blok diagram dapat dilihat dalam **Gambar 2.2**.



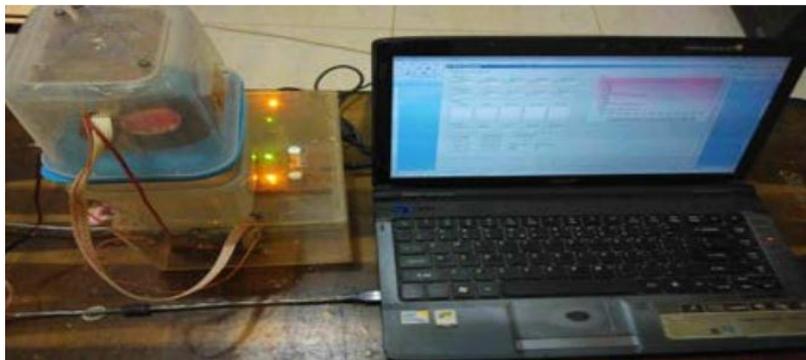
Gambar 2. 2 Perancangan Blok Diagram (Putra et al., 2016).

Perancangan sensor tahapan berikutnya dimana pada kegiatan ini merupakan rangkaian pengkondisi sinyal yang terdiri dari lima sensor gas TGS yang

menggunakan beberapa komponen elektronika untuk mendukung fungsi kerja dari sensor tersebut, yaitu:

- a. Resistor yang berfungsi untuk memberikan nilai RL dan RS pada rangkaian.
- b. *Jumper header* yang berfungsi untuk memngubungkan *Vin*, GND, dan *Vout* dengan rangkaian pengkondisi sinyal.
- c. LED yang berfungsi untuk memberi tanda bahwa tegangan telah masuk ke rangkaian sensor.

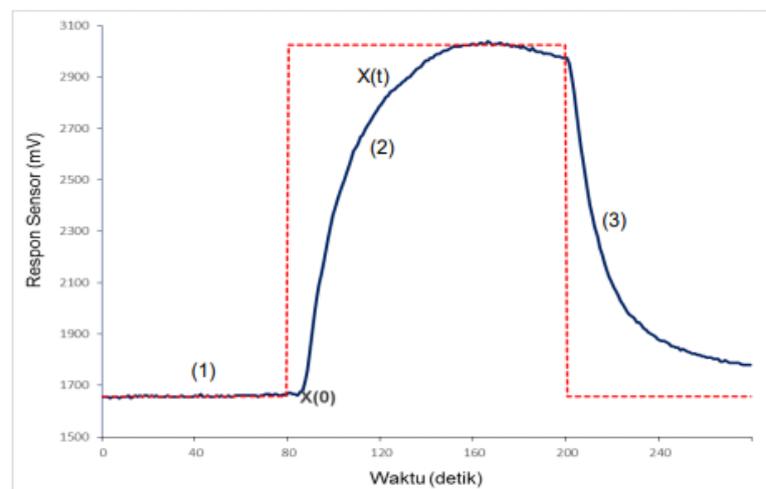
Sistem dirancang untuk dapat mengidentifikasi aroma teh berdasarkan jenisnya. Sistem terdiri atas ruang sensor, wadah uji, *arduino uno*, *power supply*, *fan*, dan PC. Data yang didapat dari respon sensor terhadap aroma teh akan diteruskan ke PC yang akan disimpan untuk proses *training* dan identifikasi menggunakan metode Back propagation , seperti pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Perancangan Perangkat Keras (Putra et al., 2016).

Lelono et al. (2017) *e-nose* yang telah dikembangkan untuk pengukuran aroma teh hitam beda kualitas secara detail. *E-nose* yang telah menggunakan ruang sampel tabung silinder dengan volume 500 mL, sistem pemanas terkendali dengan akurasi kestabilan suhu hingga $\pm 0,2\%$. Kemudian untuk pengukuran aroma sampel dengan *e-nose* ini beberapa parameter yang perlu di *setup*. Parameter *setup*

e-nose untuk eksperimen Nama Parameter Besaran Massa tiap sampel teh hitam 50 gr Jenis teh hitam (Q1, Q2 dan Q3) 3 jenis Variasi *setpoint* suhu pemanasan sampel 30–60 °C Waktu pengambilan sampel > 600 detik Waktu *flushing* 300 detik, waktu *collecting* 120 detik, waktu *purging* 80 detik, laju aliran udara 4,0 L/detik pengukuran aroma dilakukan dengan meletakkan teh hitam (50 g) ke dalam ruang sampel. Kemudian dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak *e-nose* ditentukan suhu pemanas selama periode pengukuran, waktu *flushing*, *collecting* dan *purging*. Adapun proses pengukuran aroma teh hitam dengan konsep hirup dan hembus aroma. Proses pengukuran ini dilakukan dengan mengatur *valve* 1, 2 dan 3 secara otomatis melalui komputer berdasarkan durasi waktu yang telah ditentukan. Proses hirup berarti pengambilan aroma (*collecting*) dengan cara membuka *valve* 2, *valve* 3 dan menutup *valve* 1 sehingga udara yang berasal dari kompresor masuk ke ruang sampel dan membawa aroma teh hitam ke ruang sensor. Sedangkan proses hembus membersihkan aroma dari ruang sensor (*purging*) yang dilakukan dengan cara membuka *valve* 1 dan menutup *valve* 2 dan 3 sehingga udara bersih dari kompresor masuk ke ruang sensor.



Gambar 2. 4 Respons sensor saat siklus pengukuran (Lelono et al., 2017).

Berdasarkan **Gambar 2.4**. Respons sensor saat (1) *flushing*, (2) *collecting* dan (3) *purging* dalam satu siklus pengukuran, proses *flushing* hanya diperlukan pada saat awal pergantian sampel untuk membersihkan ruang sensor dari pengaruh aroma sampel sebelumnya. Keseluruhan proses pengukuran dari awal hingga akhir direkam secara runtun waktu tiap detik oleh komputer. Secara lengkap aroma yang ditangkap dan dirubah oleh larik sensor berupa grafik respons sensor. Analisis respons sensor lebih lanjut dilakukan dengan melakukan prapemrosesan (*preprocessing*) dan ekstraksi ciri (*feature extraction*) supaya dapat diklasifikasi dengan PCA. Suhu pemanas sampel optimal dipilih berdasarkan perbandingan kestabilan pola variasi suhu pemanas sampel (30–60 °C) untuk tiap kali pengukuran (*collecting dan purging*). Kemudian setelah diperoleh suhu yang optimal selanjutnya dilakukan pengukuran sampel teh hitam kualitas 1 (Q1), kualitas 2 (Q2) dan kualitas 3 (Q3) sebanyak 300 kali (Lelono et al., 2017).

2.2 Teori Dasar

2.2.1 Teh

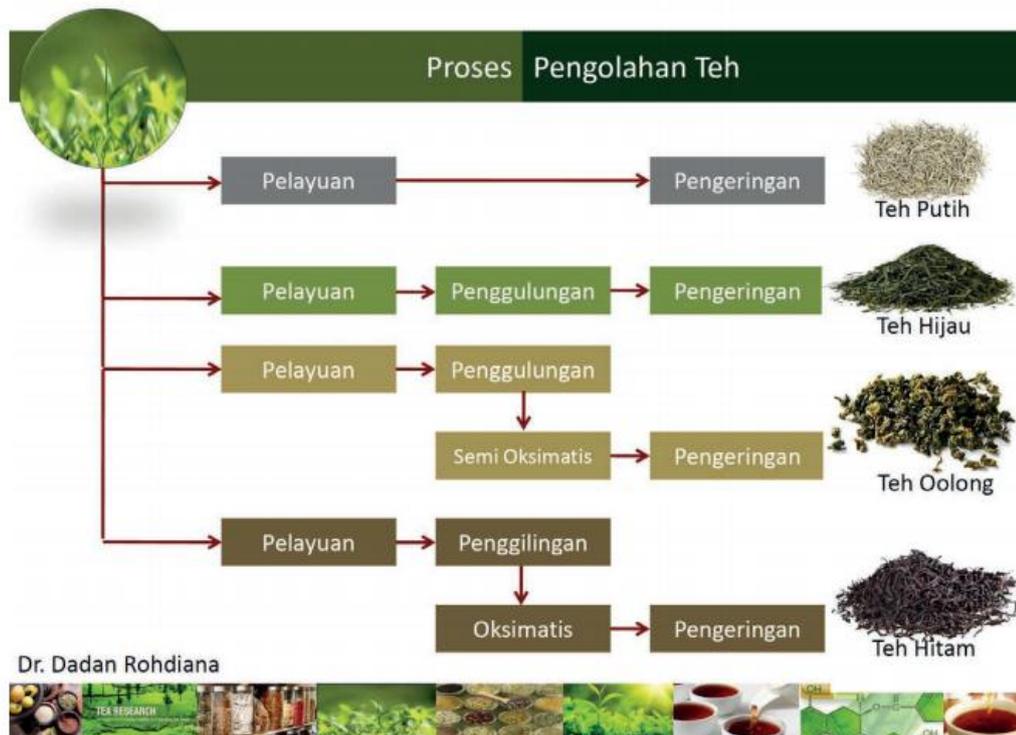
Semua jenis teh dihasilkan dari bahan baku yang sama yaitu tanaman teh atau *Camellia sinensis*. Tanaman teh yang dibudidayakan secara komersial terdiri dari dua varietas utama, yaitu *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze var. *sinensis* dan *Camellia sinensis* (Master) Kitamura var. *assamica*. Pada *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze var. *sinensis* mempunyai daya tahan yang baik terhadap cuaca dingin maupun panas. Varietas ini banyak dibudidayakan di China dan Jepang untuk membuat teh hijau. Sedangkan *Camellia sinensis* (Master) Kitamura var.

assamica mempunyai produktivitas dan kualitas yang lebih baik. Varietas ini banyak dibudidayakan di negara-negara produsen teh seperti India, Srilanka, Kenya dan Indonesia (Rohdiana, 2015).

Luas area perkebunan dan produksi teh di Indonesia selama 10 tahun terakhir meningkat kecil. Tercatat luas perkebunan pada Tahun 2016 sebesar 117.268 hektar yang terdiri atas perkebunan rakyat 53.141 hektar (46%), perkebunan milik negara (PT. Perkebunan Negara) sebesar 35.655 hektar (31%) dan perusahaan swasta 28.472 hektar (24%) (Suhariyanto, 2019). Jumlah produksi teh pada kurun waktu yang sama tercatat 144.015 ton, yang terdiri atas perkebunan rakyat 49.364 ton, perkebunan milik negara 55.976 ton dan perkebunan swasta 38.675 ton. Namun demikian tingkat konsumsi teh masyarakat per kapita cenderung turun, yakni dari 0,69 kg (2006) menjadi 0,61 kg (2014) (Suhariyanto, 2019). Sedangkan, di lain pihak tingkat permintaan minuman teh dalam kemasan meningkat hingga di atas 10% selama sepuluh tahun terakhir (Winosa, 2018). Adapun manfaat kesehatan dan kecantikan pada saat minum teh hijau, berada di posisi ketiga yaitu sebanyak 16,24%, hal ini berbeda pada teh hitam. Manfaat kesehatan dan kecantikan yang diinginkan setelah meminum teh hitam berada di posisi terendah yaitu sebanyak 5,93% (Nugraha et al., 2017).

Teh adalah salah satu produk minuman yang dibuat dari daun teh muda dan sudah melalui proses pengolahan seperti pelayuan, oksidasi enzimatis, penggilingan, serta pengeringan. Kandungan senyawa kimia yang ada didalam teh adalah katekin, vitamin E, vitamin C, tanin, flavonoid, theofilin, polifenol, dan sejumlah mineral seperti Mg, Ge, Mo, Se dan Zn (Arisudin et al., 2021).

Berdasarkan proses pengolahannya, jenis teh dapat dibedakan menjadi teh tanpa fermentasi (teh putih dan teh hijau), teh semi fermentasi (teh oolong), serta teh fermentasi (teh hitam). Belakangan istilah fermentasi menjadi kurang populer dan diganti dengan istilah yang lebih tepat, yaitu oksidasi enzimatik atau disingkat menjadi oksimatis (Rohdiana, 2015).



Gambar 2. 5 Proses pengolahan teh (Rohdiana, 2015).

2.2.1.1 Teh Hijau (*Green tea*)

Teh hijau diperoleh tanpa proses fermentasi (oksidasi enzimatik), yaitu dibuat dengan cara menginaktivkan *enzim fenolase* yang ada dalam pucuk daun teh segar, dengan cara pemanasan sehingga oksidasi terhadap katekin (zat antioksidan) dapat dicegah. Pemanasan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan udara kering (pemanggang/sangrai) dan pemanasan basah dengan uap panas (*steam*). Secara

umum, teh hijau dibedakan menjadi teh hijau China (*Panning Type*) dan teh hijau Jepang (*Steaming Type*). Baik teh hijau China maupun Jepang, prinsip dasar proses pengolahannya adalah inaktivasi *enzim polifenol oksidase* untuk mencegah terjadinya oksimatis yang merubah *polifenol* menjadi senyawa oksidasinya berupa *Theaflavin* dan *Thearubigins*. *Theaflavin* merupakan polifenol antioksidan yang terbentuk dari kondensasi dalam daun teh selama oksidasi enzimatik teh hitam. Sedangkan, *Thearubigins* adalah polifenol polimer yang terbentuk selama oksidasi enzimatik dan kondensasi dengan partisipasi *polifenol oksidase* selama reaksi fermentasi dalam teh hitam. *Thearubigins* berwarna merah dan bertanggung jawab atas banyak efek pewarnaan teh. Pada proses pengolahan teh hijau China digunakan mesin pelayuan berupa *rotary panner* untuk menginaktivasi enzim. Sementara itu, proses teh hijau Jepang menggunakan steamer dalam menginaktivasi enzimnya. Daun teh yang sudah dilayukan, kemudian digulung dan dikeringkan sampai kadar air tertentu (Rohdiana, 2015).

Pada model teh hijau, indikator klaim mengurangi risiko penyakit jantung dan penyakit kanker memiliki nilai *loading factor* yang menempati urutan pertama dan kedua tertinggi. Artinya, indikator tersebut memberikan kontribusi yang paling besar terhadap variabel sikap konsumen. Hal ini mengindikasikan responden menilai teh hijau memiliki kepercayaan teh hijau memiliki manfaat kesehatan untuk mengurangi penyakit jantung dan kanker. Kemudahan memperoleh memiliki kontribusi terhadap variabel sikap. Sama halnya dengan teh hitam, desain kemasan teh hijau mendukung variabel sikap konsumen. Indikator merek pun memiliki kontribusi terhadap teh hijau. Responden pada penelitian ini rata-rata menyukai teh hijau dalam bentuk *Ready to Drink* (RTD)

atau siap minum. Hal ini juga menjadikan responden menilai teh hijau dapat memberikan kesegaran karena rasanya yang bervariasi dan biasanya teh RTD disajikan dalam keadaan dingin. Oleh karena itu, cita rasa pun menjadi indikator yang memberikan kontribusi terhadap variabel sikap (Nugraha et al., 2017).

2.2.1.2 Teh Hitam (*Black Tea*)

Teh hitam merupakan teh yang dibuat dengan melalui proses fermentasi, sehingga katekin pada teh hitam mengalami degradasi menjadi *Thearubigin* dan *Theaflavin* yang akan mempengaruhi warna seduhan dan aroma pada teh itu sendiri. Fermentasi ini sendiri tanpa menggunakan mikroorganisme, tetapi menggunakan enzim fenolase yang terdapat pada teh. Polifenol mempunyai aktivitas sebagai antioksidan yang sangat kuat. Kemampuannya menangkap radikal bebas 100 kali lebih efektif dari vitamin C dan 25 kali lebih efektif daripada vitamin E (Sari et al., 2018).

Teh hitam berasal dari jenis tanaman *Camellia sinensis* untuk menghasilkan teh hitam, daun teh akan dibiarkan menjadi berwarna coklat melalui tahapan seperti proses oksidasi sempurna sehingga menghasilkan rasa dan warna khas. Teh yang berasal dari Tiongkok ini merupakan jenis teh yang paling sering kita temui. Teh celup yang biasa kita seduh dan es teh manis yang menjadi teman makan siang kita termasuk ke dalam teh jenis ini. Satu cangkir berisi sekitar 230 ml teh yang mengandung sekitar 14-70 mg kafein. Teh hitam juga dapat mengganggu kinerja obat atau suplemen yang dikonsumsi bersamaan atau berdekatan waktu, karena beberapa jenis obat bisa berinteraksi atau menahan

kafein lebih lama berada dalam tubuh. Selain itu, teh hitam juga dapat menyebabkan tekanan darah meningkat, kejang dan pingsan jika dikonsumsi dengan jenis kafein lain atau produk ephedra. Namun, teh hitam memiliki beberapa manfaat untuk tubuh seperti membantu pada system pencernaan, meningkatkan kesehatan mulut, dan menurunkan risiko diabetes (Astuti and Aprilia, 2020). Dibandingkan dengan jenis teh lainnya, teh hitam adalah teh yang paling banyak diproduksi yaitu 78%, diikuti teh hijau 20% kemudian sisanya adalah teh oolong dan teh putih yaitu 2%. Teh hitam ini juga merupakan teh dengan proses pengolahan yang cukup rumit. Berdasarkan prosesnya teh hitam dibedakan menjadi teh hitam ortodoks dan *crushing-tearing-curling* (CTC). Pada proses pengolahan teh hitam ortodoks, daun teh dilayukan semalam 14-18 jam. Setelah layu, daun teh digulung, digiling dan dioksimatis selama kurang lebih 1 jam. Sementara itu, proses pengolahan CTC, pelayuannya lebih singkat yaitu, 8-11 jam dan diikuti dengan proses penggilingan yang sangat kuat untuk mengeluarkan cairan sel semaksimal mungkin. Proses selanjutnya adalah pengeringan yaitu proses pengolahan yang bertujuan untuk menghentikan proses oksimatis dan menurunkan kadar air. Teh kering selanjutnya disortasi dan digradasi untuk menghasilkan jenis mutu teh tertentu (Rohdiana, 2015).

2.2.1.3 Teh Oolong (*Oolong Tea*)

Teh oolong merupakan jenis teh yang pada proses fermentasinya tidak dilakukan sepenuhnya atau disebut juga semi oksimatis, akibatnya kandungan *Theaflavin* dan *Thearubigin* pada teh oolong tidak sebanyak pada teh hitam. Teh oolong dibuat dari daun teh *Camellia sinensis varietas sinensis*. Setelah sampai di pabrik,

daun teh sesegara mungkin dilayukan dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari sambil digulung halus secara manual menggunakan tangan ataupun menggunakan mesin. Tujuan penggulangan halus ini adalah untuk mengoksidasi sebagian polifenol yang terdapat dalam daun teh. Proses ini dikenal sebagai proses semi oksimatis. Setelah dipandang cukup semi oksimatisnya, daun teh kemudian dikeringkan (Rohdiana, 2015).

Teh oolong merupakan teh yang diolah melalui proses fermentasi. Teh yang berasal dari Tiongkok ini paling banyak dihasilkan di Provinsi Fujian, salah satu provinsi dipesisir selatan Republik Rakyat Tiongkok. Proses fermentasi pada teh hitam memberikan warna gelap, rasa yang sedikit pahit dan aroma yang khas pada teh oolong. Teh oolong dipengaruhi oleh proses pengolahan dan penggulangan yang berbeda, teh oolong memberikan aroma tajam yang khas. Setelah diseduh dengan baik, teh oolong pada awalnya akan terasa pahit, tetapi kemudian akan meninggalkan sedikit rasa manis setelah diminum. Beberapa khasiat dari teh oolong diantaranya membantu menurunkan berat badan, menstabilkan gula darah dan mencegah osteoporosis (Astuti et al., 2016).

2.2.1.4 Teh Putih (*White Tea*)

Teh putih merupakan jenis teh paling istimewa karena dibuat dari pucuk daun termuda yang tanpa mengalami fermentasi. Sehingga pada teh putih ini kaya akan kandungan katekin, karena katekin ini tidak mengalami degradasi (Rohdiana, 2015).

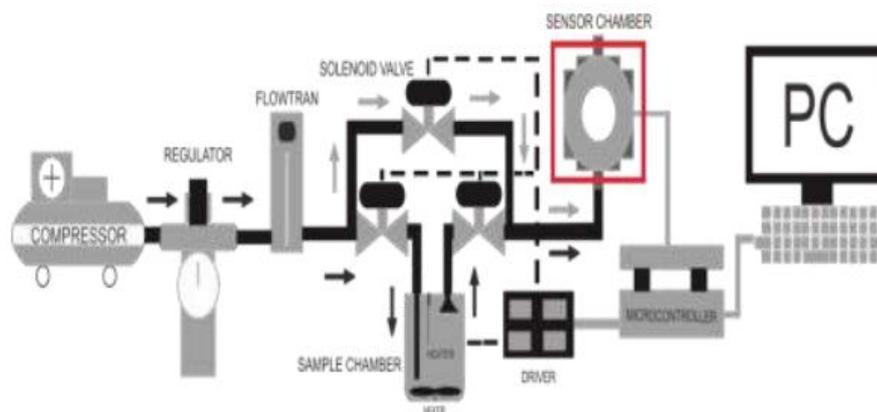
Teh putih (*Camellia sinensis L*) merupakan jenis teh yang diperoleh dari pucuk teh yang masih menggulung dan pada saat dipetik dilindungi dari sinar matahari. Benalu teh (*Scurulla atropurpurea [BL] Dans*) merupakan tanaman parasit pada teh. Kedua tanaman mengandung *flavonoid* (*flavanol, flavonol*) dan *tanin*. Kondisi kelembaban yang tinggi dapat merusak simplisia tanaman obat dalam proses penyimpanan jangka panjang. Iradiasi dengan sinar gamma merupakan salah satu metode yang efektif untuk memperpanjang masa simpan simplisia. Simplisia hasil iradiasi segera diekstraksi dengan *Microwave Assisted Extraction (MAE)* menggunakan pelarut etanol 60% menghasilkan ekstrak teh putih dan benalu teh. Penentuan kadar *flavonoid* dan tanin total dilakukan dengan metode aluminium klorida dan *folin-ciocalteau* (Sari et al., 2018).

Kualitas air berpengaruh terhadap kualitas seduhan teh. Air yang bagus adalah air dari mata air pegunungan. Sedangkan suhu air seduhan tergantung dari jenis teh yang akan diseduh. Teh hitam menggunakan suhu air 100 °C (mendidih), teh hijau suhu air 85 °C dan teh putih suhu air 60 °C. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa suhu seduhan 62 ± 2 °C dan 10 menit cukup efektif untuk mengekstrak senyawa fenolik teh putih (Wahjuningsih, 2018).

2.2.2 Electronic Nose (E-nose)

E-nose merupakan salah satu instrumen elektronik yang bekerja meniru hidung manusia untuk mendeteksi dan menganalisis aroma. *E-nose* terdiri dari sistem pendistribusian aroma sampel, larik sensor, rangkaian elektronik dan *software* untuk analisis data. Pada saat ini, implementasi *e-nose* banyak digunakan pada

industri makanan seperti, kopi, teh, *wine*, *beer*, dan lainnya. *E-nose* yang terdiri atas larik sensor gas kimia tak selektif berfungsi menangkap dan mentransformasikan aroma menjadi sinyal-sinyal listrik atau respon sensor. Sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan ini merupakan senyawa-senyawa pembentuk aroma saling tumpang tindih (*overlapping*) yang ditangkap oleh larik sensor dengan masing-masing kepekaan yang berbeda-beda. Kemudian sinyal-sinyal listrik berupa respon sensor yang membentuk pola-pola khusus untuk jenis aroma yang ditangkap. Adapun untuk dapat mengidentifikasi atau mengklasifikasi pola tersebut tidak dapat dilakukan hanya dengan melihat pola yang dihasilkan secara kuantitatif namun diperlukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan mesin pengenalan pola (Rahman et al., 2018).



Gambar 2. 6 Diagram blok sistem *e-nose* (Rahman et al., 2018).

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah electronic nose model dinamis dengan ruang sampel dan ruang sensor berada terpisah. Aroma yang dipakai dikirim ke ruang sensor menggunakan sistem aliran udara menggunakan udara bersih dari kompresor. *E-nose* dinamis ini menggunakan sensor gas berbasis MOS dengan ruang sensor berbentuk bola (Dwisudar, 2016). Adapun deret sensor gas yang digunakan adalah dari jenis MQ x, MQ 1xx, TGS 8xx, dan TGS 26xx.

Sensor-sensor gas tersebut bersifat tak selektif dan dapat menangkap senyawa-senyawa volatile tak spesifik, bersifat tumpang tindih (*overlapping*) sehingga *e-nose* bersifat umum dan dapat digunakan secara luas (Rahman et al., 2018).

Sistem perangkat keras *e-nose* secara keseluruhan dikendalikan oleh *controller* yang dikomunikasikan secara langsung pada komputer yaitu *Graphical User Interface* (GUI) dengan menggunakan jalur *universal serial bus* (USB). Antarmuka pengguna ini telah dirancang oleh untuk difungsikan sebagai program penampil sekaligus pengendali perangkat keras dalam pengukuran sampel. Dalam antarmuka ini dilengkapi inisialisasi parameter; tombol *start*, *reset*, *pause*, dan *stop*. Pada saat pengguna menekan tombol *start*, maka proses akuisisi data, kendali suhu dan kendali aliran akan berjalan bersamaan. Proses akuisisi data berjalan secara menurun dan akan berhenti apabila parameter *countdown* sama dengan 0. Perulangan ini meliputi jumlah *flushing*, *collecting*, dan *purgig* (Herlambang et al., 2015). Sensor *array* yang telah dihubungkan dengan *analog on-chip* Konverter digital mikrokontroler daya rendah (ATmega 8) melalui pembagi tegangan yang berbasis sirkuit pengondisian sinyal (Baskara et al., 2016).

Selama empat dekade terakhir banyak penelitian yang bertujuan mengembangkan sistem elektronik penciuman atau hidung elektronik telah dilakukan. Selama itu, sistem deteksi bau otomatis telah diterapkan di banyak aplikasi industri, pertanian, kualitas udara dalam ruangan, pemantauan lingkungan, pengendalian kualitas produk makanan, diagnosis medis, dan juga banyak lainnya. Di sisi lain, beberapa perkembangan telah diarahkan pada pembangunan biaya rendah dan hidung

elektronik kompak yang telah menghasilkan sejumlah produk *e-nose* komersial (Macías et al., 2014). Tujuan lain dalam pengembangan hidung elektronik adalah merancang sistem ukuran kecil yang mudah digunakan yang berlaku untuk pemantauan secara langsung dan maupun secara *online*. Selain itu, upaya juga telah dilakukan untuk mengkorelasikan data hidung elektronik dengan hidung manusia serta dengan kromatografi gas (Aleixandre et al., 2015).

Perangkat *e-nose* menawarkan banyak kegunaan dan keuntungan untuk berbagai aplikasi biomedik karena beragam prinsip operasi yang berbeda yang terkait dengan berbagai jenis dan desain instrumen *e-nose*. Perangkat jenis ini memiliki setidaknya empat bagian dengan berbagai fungsi: memastikan kecukupan campuran gas dan pengambilan sampel, *array* sensor gas melakukan pendeteksian, bagian elektronik kontrol didedikasikan untuk pengelolaan susunan sensor dan kecukupan sinyal, dan akhirnya, sebuah komputer dengan algoritma klasifikasi pola yang sesuai, mengekstrak fitur karakteristik dari masing-masing aroma dan menyajikan hasilnya pada antarmuka pengguna (Macías et al., 2014).

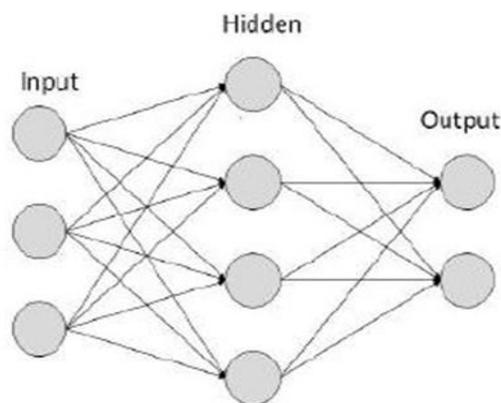
2.2.3 Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Otak manusia diyakini sebagai objek paling kompleks yang dikenal di alam semesta. Blok bangunan dasar otak adalah neuron. Ada sekitar 100 miliar neuron yang dihubungkan oleh sekitar 100 triliun tautan. Terinspirasi oleh prinsip-prinsip komputasi yang dilakukan oleh jaringan saraf biologis otak, sebuah sistem komputasi yang disebut jaringan saraf tiruan dikembangkan. Itu adaptif dan belajar dari pengalaman dan contoh. Dari data pelatihan, dimungkinkan untuk bereaksi

terhadap pola. Jaringan saraf tiruan memiliki aplikasi dalam banyak disiplin ilmu karena kemampuannya untuk memetakan, memodelkan, dan mengklasifikasikan proses nonlinier. Ini termasuk pemrosesan gambar, identifikasi dan kontrol sistem, pengenalan pola, dan banyak lagi. Untuk aplikasi waktu nyata, komputasi saraf dibangun dengan biaya rendah dan kecepatan tinggi. Belajar dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk tampil lebih baik pada tugas yang diberikan melalui pengalaman. Proses pembelajaran otak melibatkan perubahan struktur saraf biologis, mengubah kekuatan koneksi sebagai respons terhadap aktivitas. Salah satu fitur yang paling menarik dari jaringan saraf tiruan adalah kemampuannya untuk belajar. Proses pembelajaran ini dapat dimodelkan dengan memodifikasi bobot koneksi antar node dalam jaringan. Algoritma pembelajaran sangat berguna untuk masalah persepsi kompleks yang sulit untuk ditulis oleh programmer (Amrutha & Ajai, 2018).

Misalnya, pengenalan wajah adalah masalah yang sulit bagi manusia untuk diubah secara akurat menjadi kode. Proses memodifikasi bobot dalam koneksi antar lapisan jaringan untuk mencapai keluaran yang diharapkan disebut pelatihan jaringan. Yang terjadi selama pelatihan adalah pembelajaran. Ada algoritma pembelajaran yang berbeda seperti pembelajaran yang diawasi, pembelajaran tanpa pengawasan, dan pembelajaran penguatan. Dalam supervised learning, jaringan menggunakan sekumpulan contoh input-output untuk dilatih. Setelah dilatih, jaringan harus dapat memetakan input baru dan tak terlihat ke output dengan benar. Algoritma backpropagasi adalah jenis pembelajaran yang diawasi. Ini dapat digunakan untuk pelatihan jaringan saraf berlapis-lapis (Amrutha & Ajai, 2018).

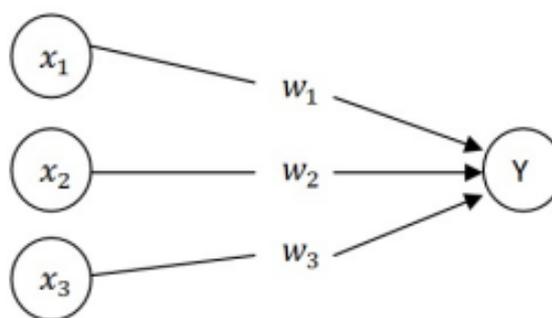
Unit dasar jaringan saraf tiruan adalah neuron buatan. Ini mewakili unit pemrosesan jaringan. Model neuron buatan yang diusulkan oleh McCulloch Pitts ditunjukkan pada **Gambar 2.7**. Model ini banyak digunakan dalam aplikasi klasifikasi pola jaringan saraf tiruan:



Gambar 2. 7 Tipe JST (Amrutha & Ajai, 2018)

JST merupakan salah satu representasi buatan otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia (Windarto, 2017). Metode yang sering dipakai dalam membuat e-nose adalah JST. Cara kerja JST untuk proses informasi meniru sistem syaraf biologi manusia mirip dengan kerja otak . Pendekatan yang dilakukan adalah pengenalan pola yaitu belajar dari pola atau contoh yang telah dicoba sebelumnya untuk dapat dikenal oleh sistem agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Hasil studi literatur yang dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa implementasi JST dengan metode *Back Propagation* bekerja dengan baik dalam mengenali dan mendeteksi bau (Hasanati & Meidelfi, 2020).

Konsep Dasar JST adalah neuron akan memproses pola informasi *input* dan *output* akan dikirim oleh JST. Setelah itu neuron terkumpul di dalam lapisan-lapisan sehingga disebut neuron *layers*. Ada 3 lapisan penyusun JST, yaitu: Lapisan *Input*, unit-unit *input* adalah unit yang berada pada lapisan ini yang bertugas menerima pola-pola yang mendeskripsikan suatu permasalahan yang dikirim dari luar. Lapisan *input* fungsinya adalah menyimpan nilai input dan tidak berubah pada fase latih, nilai berubah ketika diberikan nilai *input* baru. Kedua adalah Lapisan Tersembunyi, unit-unit tersembunyi adalah unit yang berada pada lapisan ini yang outputnya tidak dapat langsung diamati. Lapisan Tersembunyi atau *hidden layer* menjalankan semua proses fase pelatihan dan pengenalan. Terakhir yaitu Lapisan *Output*, unit-unit *output* adalah unit yang berada pada lapisan ini. Pada lapisan ini nantinya akan dihasilkan solusi atau *output* dari suatu permasalahan yang diinputkan (Lesnussa et al., 2017).



Gambar 2. 8. Fungsi Aktivasi (Lesnussa et al., 2017)

Besarnya impuls yang diterima oleh Y mengikuti fungsi aktivasi $y = f(\text{net})$. Apabila nilai fungsi aktivasi cukup kuat, maka sinyal akan diteruskan. Nilai fungsi aktivasi (keluaran model jaringan) juga dapat dipakai sebagai dasar untuk merubah bobot (Lesnussa et al., 2017).

Evaluasi kinerja JST dilakukan menggunakan *confusion matrix*. *Confusion matrix* mengidentifikasi 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 dengan berbagai parameter yang menerangkan kinerja JST. Berikut adalah berbagai parameter yang digunakan dalam mengevaluasi performa JST (Mazen & Nashat, 2019).

1. Akurasi

Akurasi merupakan rasio prediksi benar (*TN* dan *TP*) terhadap keseluruhan data. Akurasi yang dihitung menggunakan **Persamaan 2.1**.

$$AC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100 \quad (2.1)$$

2. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan rasio prediksi benar positif (*TP*) terhadap data benar positif (*TP*) dan salah positif (*FN*). Sensitivitas dihitung menggunakan **Persamaan 2.2**.

$$SN = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (2.2)$$

3. Spesifitas

Spesifitas merupakan rasio prediksi benar negatif (*TN*) terhadap data benar negatif (*TN*) dan salah positif (*FP*). Spesifitas dihitung menggunakan **Persamaan 2.3**.

$$SP = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (2.3)$$

4. Presisi

Presisi merupakan rasio prediksi benar positif (TP) terhadap data benar positif (TP) dan salah positif (FP). Spesifitas dihitung menggunakan **Persamaan 2.4**.

$$PR = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (2.4)$$

5. Prediksi Negatif

Prediksi negatif merupakan rasio prediksi benar negatif (TN) terhadap data benar negatif (TP) dan salah negatif (FP). Presisi dihitung menggunakan **Persamaan 2.5**.

$$PN = \frac{TN}{TN + FN} \times 100 \quad (2.5)$$

Keterangan:

AC = Akurasi

SN = Sensitivitas

SP = Spesifitas

PR = Presisi

PN = Prediksi Negatif

TP (True Positive) = Jumlah prediksi yang benar dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji

TN (True Negative) = Jumlah prediksi yang salah dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji

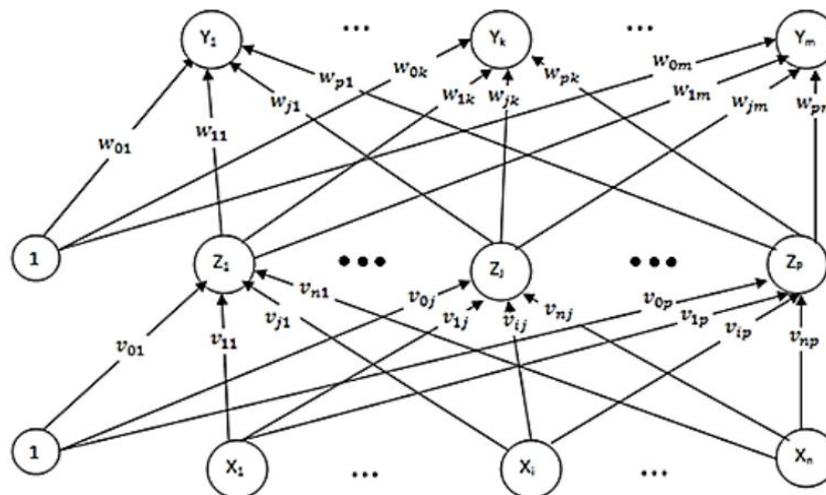
FP (False Positive) = Jumlah prediksi yang benar dan jumlah nilai asli yang salah untuk setiap kelas yang diuji

FN (False Negative) = Jumlah prediksi yang salah dan jumlah nilai asli yang benar untuk setiap kelas yang diuji

2.2.4 Metode *Back Propagation*

Metode *Back Propagation* merupakan metode pembelajaran lanjut yang dikembangkan dari aturan *perceptron*. Metode *Back Propagation* ini dikembangkan oleh Rumelhart, Hinton dan Williams sekitar tahun 1986 yang mengakibatkan peningkatan kembali minat terhadap jaringan syaraf tiruan. Metode ini terdiri dari dua tahap, yaitu *feed forward* dan tahap *back propagation error* (Fadhilillah, 2019). Algoritma *Back Propagation* dalam melakukan proses pembelajaran pada Jaringan Syaraf Tiruan, secara umum terdiri dari alur maju (*forward*) dan alur mundur (*backward*) (Sudarmadji & Gunawan, 2017).

Pelatihan pada metode Backpropagation meliputi 3 fase yaitu fase forward propagation, fase backpropagation dan modifikasi bobot. Arsitektur Backpropagation dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Arsitektur Jaringan Backpropagation (Khusniyah, 2016)

Langkah pertama pembuatan jaringan syaraf tiruan dengan metode *back propagation* adalah melakukan inisialisasi bobot awal. Bobot awal yang dimasukan

adalah nilai acak antara 0 sampai 1. Tahap *feedforward* dimulai dengan menerima sinyal masukan dari sensor (X_i , $i=1, 2, \dots, n$) dan menjalankan sinyal tersebut dari setiap neuron pada lapisan masukan ke lapisan selanjutnya (Z_j , $j=1, 2, \dots, p$). dilakukan penjumlahan bobot dengan sinyal masukannya :

$$Z_{in_j} = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_j \quad (2.6)$$

Diterapkan fungsi aktivitas untuk menghitung nilai sinyal keluaran

$$Z_j = f(Z_{in_j}) \quad (2.7)$$

Kemudian sinyal ini dikirim ke semua neuron pada lapisan keluaran (Y_k , $k=1,2, \dots, m$), dilakukan penjumlahan bobot dengan sinyal masukan:

$$Y_{in_k} = w_{0j} + \sum_{i=1}^p Z_j w_k \quad (2.8)$$

Fungsi aktivitas diterapkan untuk menghitung nilai sinyal keluaran

$$Y_k = f(Y_{in_k}) \quad (2.9)$$

Selanjutnya tahap *back propagation of error* dimana setiap neuron pada lapisan keluaran menerima sebuah pola target yang berhubungan dengan pola masukan pelatihan kemudian menghitung kesalahannya

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{in_k}) \quad (2.10)$$

Perubahan bobot dihitung yang digunakan untuk mengubah w_{jk}

$$\Delta w_{jk} = \alpha \cdot \delta_k \cdot z_k \quad (2.11)$$

Perubahan bias dihitung yang digunakan untuk mengubah nilai w_{0k}

$$\Delta w_{0k} = \alpha \cdot \delta_k \quad (2.12)$$

Penjumlahan nilai delta masukan dilakukan untuk setiap neuron pada lapisan tersembunyi pada lapisan di atasnya

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (2.13)$$

perkalian dilakukan dengan turunan aktivitasnya untuk menghitung nilai kesalahannya.

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(Z_{in_k}) \quad (2.14)$$

perubahan bobot dihitung yang akan digunakan untuk menubah nilai v_{ij}

$$\Delta v_{ij} = \alpha \cdot \delta_j \cdot x_i \quad (2.15)$$

Kemudian dihitung perubahan biasnya yang digunakan untuk mengubah nilai v_{0j}

$$\Delta v_{0j} = \alpha \cdot \delta_j \quad (2.16)$$

Terakhir adalah melakukan *update* nilai bobot dan bias dengan mengganti nilai bobot dan bias pada lapisan keluaran

$$w_{jk(\text{baru})} = w_{jk(\text{lama})} + \Delta w_{jk} \quad (2.17)$$

Dilakukan penggantian nilai bobot dan bias untuk setiap neuron pada lapisan tersembunyi

$$v_{ij(\text{baru})} = v_{ij(\text{lama})} + \Delta v_{ij} \quad (2.18)$$

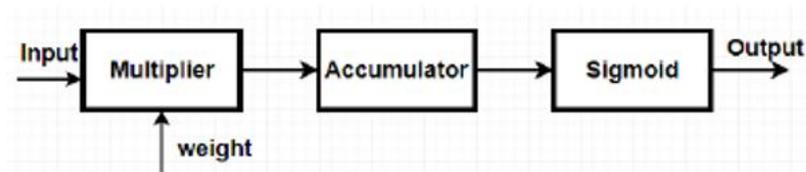
Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1. $X = \text{input neuron}$ | 4. $Z = \text{output hidden layer}$ |
| 2. $V = \text{hidden layer}$ | 5. $W = \text{output layer}$ |
| 3. $Z_{in} = \text{input hidden layer}$ | 6. $Y_{in} = \text{input output layer}$ |

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| 7. $Z = \text{output output layer}$ | 10. $\Delta w = \text{bobot output layer}$ |
| 8. $\delta = \text{error}$ | 11. $\Delta v = \text{bobot hidden layer}$ |
| 9. $t = \text{output targer}$ | 12. $\alpha = \text{learn rate}$ |

(Desiani & Arhami, 2006)

Metode *Back Propagation* melakukan latihan atau training jaringan untuk bisa memperoleh hasil yang seimbang antara kemampuan jaringan saat pelatihan dalam mengenali pola dengan kemampuan jaringan dalam merespon dengan benar pola input atau masukan yang mirip tetapi tidak sama dengan pola yang dipakai pada saat melakukan pelatihan atau *training*. *Back Propagation* memiliki 3 buah lapisan yaitu lapisan masukan atau *input*, lapisan keluaran atau *output* dan lapisan tersembunyi atau *hidden layer* (Hasanati & Meidelfi, 2020).



Gambar 2. 10 Arsitektur neuron tunggal (Amrutha & Ajai, 2018)

Algoritma backpropagation adalah jenis pembelajaran yang diawasi. Dapat digunakan untuk pelatihan jaringan saraf multi-layer. Arsitektur jaringan syaraf tiruan mengimplementasikan feedforward dengan 4 input, lapisan tersembunyi dengan 4 neuron sigmoid, dan lapisan output dengan 1 neuron sigmoid. Aplikasi jaringan saraf yang berbeda memerlukan jumlah lapisan dan node yang berbeda di setiap lapisan (Amrutha & Ajai, 2018). Pendekatan JST dapat meniru perilaku yang kompleks dan non-linear melalui neuron, dan telah banyak digunakan dalam prediksi. Model yang paling banyak digunakan pada kecerdasan buatan atau *Artif-*

ical Intelligence (AI) adalah model *Back Propagation*. Ciri khas *Back Propagation* melibatkan tiga lapisan : lapisan *input*, dimana data diperkenalkan ke jaringan; *hidden layer*, dimana data diproses; dan lapisan *output*, dimana hasil dari masukan yang diberikan oleh lapisan *input* (Huang and Wu, 2017).

Program *back propagation* dengan *software Matlab* dilakukan membuat inisialisasi jaringan. Sebelum Training dilakukan, terlebih dahulu ditentukan nilai parameter yang diinginkan guna memperoleh hasil yang optimal. Sebelumnya data yang akan diujikan haruslah dibagi menjadi dua bagian, di mana bagian pertama adalah untuk data *training* dan bagian kedua adalah untuk data *testing*. Model Arsitektur jaringan yang digunakan sangat mempengaruhi tingkat *training* dan *testing* (Windarto, 2017).

Teknik penentuan jumlah *neuron* terhadap *hidden layer* berdasarkan pendekatan *input* dan *output* jaringan saraf tiruan (JST) dikenal sebagai *Hidden multi layer perceptron* (HMLP). Penentuan *hidden layer* mempunyai empat metode pendekatan sebagai berikut (Karthigai & Sundaram, 2020).

1. Metode pendekatan 1

Seluruh jumlah *neuron hidden layer* sama dengan seluruh jumlah *neuron input layer*. Maka metode pendekatan 1 *neuron hidden layer* dapat dijumlahkan dengan **Persamaan 2.19**.

$$Z = X \quad (2. 19)$$

2. Metode pendekatan 2

Seluruh jumlah *neuron hidden layer* sama dengan seluruh jumlah *neuron output layer*. Maka metode pendekatan 2 *neuron hidden layer* dapat dijumlahkan dengan **Persamaan 2.20**.

$$Z = Y \quad (2.20)$$

3. Metode pendekatan 3

Seluruh jumlah *neuron hidden layer* sama dengan jumlah *neuron input layer* ditambah dengan jumlah *neuron output layer*. Maka metode pendekatan 3 *neuron hidden layer* dapat dijumlahkan dengan **Persamaan 2.21**.

$$Z = X + Y \quad (2.21)$$

4. Metode pendekatan 4

Seluruh jumlah *neuron hidden layer* sama dengan separuh jumlah *neuron input layer* ditambah dengan jumlah *neuron output layer*. Maka metode pendekatan 4 *neuron hidden layer* dapat dijumlahkan dengan **Persamaan 2.22**.

$$Z = \frac{X + Y}{2} \quad (2.22)$$

Keterangan:

Z = Jumlah *neuron hidden layer*

X = Jumlah *neuron input layer*

Y = Jumlah *neuron output layer*

2.2.5 *Software Matrix Laboratory (Matlab)*

Matlab merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh *MathWorks* dan dikhususkan untuk komputasi numerik, visualisasi dan pemrograman. Dengan memanfaatkan *Matlab*, pengguna dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma dan membuat model maupun aplikasi (Parinduri, 2018).

Matlab merupakan *software* yang paling efisien untuk perhitungan numerik berbasis matriks. *Matlab* yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga matlab banyak digunakan pada:

- (1) matematika dan komputasi;
- (2) pengembangan dan algoritma;
- (3) pemrograman *modeling*, simulasi, dan pembuatan *prototype*;
- (4) analisa data, eksplorasi dan visualisasi;
- (5) analisis numerik dan statistik, dan;
- (6) pengembangan aplikasi teknik;

(Cahyono, 2016).

Ada beberapa *toolbox* yang disediakan Matlab untuk menyelesaikan kasus yang lebih khusus, antara lain:

- a. *image processing* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan pengolahan citra;
- b. *signal processing* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan pengolahan sinyal;
- c. *neural network* menyediakan berbagai fungsi yang berhubungan dengan jaringan syaraf tiruan;

(Irawan, 2012).

Proses data menggunakan software Matlab untuk membuat implementasi pemrograman *interfacing Matlab-Arduino*. Proses diawali dengan eksekusi library *Matlab-Arduino*, dimana proses ini akan memberitahukan kepada *Matlab* tentang adanya papan *Arduino* yang terkoneksi kepadanya. Proses selanjutnya adalah proses untuk menetapkan status port komunikasi *port serial (USB port)*. Proses pembacaan data yang dimaksud adalah pembacaan status data terakhir pada papan *Arduino* secara *realtime* (Nurraharjo, 2015).

2.2.6 Principal Component Analysis (PCA)

PCA pada dasarnya bertujuan untuk menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara menyusutkan (mereduksi) dimensinya. PCA telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, diantaranya analisis hubungan kuantitatif antara struktur elektronik dan aktivitas antioksidan dari senyawa turunan *flavon/flavonoid* (Abdul Muttalib et al., 2019).

Prosedur PCA pada dasarnya bertujuan untuk menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara menyusutkan (mereduksi) dimensinya. Hal ini dilakukan dengan cara menghilangkan korelasi diantara variabel bebas melalui transformasi variabel bebas asal ke variabel baru yang tidak berkorelasi sama sekali tanpa menghilangkan informasi penting yang ada di dalamnya atau yang biasa disebut dengan *principal component* (Kustian, 2016).

Setelah beberapa komponen hasil PCA yang bebas multikolinearitas diperoleh, maka komponen-komponen tersebut menjadi variabel bebas baru yang akan diregresikan atau dianalisis pengaruhnya terhadap variabel tak bebas dengan menggunakan analisis regresi. Keunggulan metode PCA diantaranya adalah dapat menghilangkan korelasi secara bersih tanpa harus mengurangi jumlah variabel asal (Ifadah, 2011).

Menggunakan contoh pada penelitian (Soedibjo, 2008) misal kita mempunyai variabel X_1, X_2, \dots, X_p (spesies atau faktor lingkungan). Berdasarkan variabel ini kita dapat membangun kombinasi linear untuk menghasilkan variabel baru yang disebut sebagai komponen utama.

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \\
 Z_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \\
 &\vdots \\
 Z_p &= a_{p1}X_1 + a_{p2}X_2 + \dots + a_{pp}X_p
 \end{aligned}
 \tag{2. 23}$$

Selanjutnya Z_1 disebut sebagai komponen utama pertama (PCA1), Z_2 komponen utama kedua (PCA2) dan seterusnya. Urutan ini merupakan cerminan dari besarnya varians yang dimiliki oleh masing-masing variabel, atau secara matematis dinotasikan sebagai $\text{var}(Z_1) \geq \text{var}(Z_2) \geq \dots \geq \text{var}(Z_p)$, dimana $\text{var}(Z_i)$ adalah varians dari Z_i dalam kumpulan data yang dipelajari. Dalam PCA, kita berharap bahwa varian dari sebagian besar variabel diharapkan sekecil mungkin, sehingga bisa diperoleh variabel Z dengan jumlah yang sedikit namun memiliki varian yang besar. Inilah yang dimaksudkan dengan proses reduksi variabel. Semakin sedikit Z , maka semakin mudah kita menginterpretasi data yang kita miliki. Salah satu sifat dari variabel Z_i adalah tidak adanya korelasi antara satu variabel dengan variabel lainnya. Ini berarti bahwa skor dari masing-masing variabel akan menunjukkan dimensi yang berbeda.

Untuk mempermudah pemahaman akan definisi PCA ini, berikut ini diberikan data hipotetis dari sampel yang diambil disebuah area (**Tabel 2.1**).

Tabel 2.1 Contoh data kelimpahan spesies

Spesies	Stasiun (sampel)						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Species A</i>	2	3	3	5	2	5	6
<i>Species B</i>	20	15	14	15	10	11	2
<i>Species C</i>	1	6	3	0	3	1	0
<i>Species D</i>	2	2	1	1	1	1	4

Berdasarkan **Tabel 2.1** di atas tampak bahwa sampel merupakan titik-titik yang terletak dalam empat dimensi yaitu Species A, B, C dan D, dengan demikian, PCA akan menghasilkan empat komponen utama. Untuk mencari variansi Z_i dan kovariansi (Z_i, Z_p) digunakan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Var}(Z_i) &= a_i \Sigma a_i & i=1,2,\dots,p \\ \text{Cov}(Z_i, Z_k) &= a_i \Sigma a_k & i,k=1,2,\dots,p \end{aligned} \quad (2.24)$$

Komponen utama merupakan kombinasi linear Z_1, Z_2, \dots, Z_p yang tidak memiliki korelasi. Selanjutnya jika menggunakan matriks kovarian dengan nilai eigen dan vektor eigen berpasangan $(\lambda_1, e_1), (\lambda_2, e_2), \dots, (\lambda_i, e_i)$ dimana $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$. sehingga *principal componen* ke- i adalah

$$Z_i = e_i X = e_{i1} X_1 + e_{i2} X_2 + \dots + e_{ip} X_p \quad i=1,2,\dots,p \quad (2.25)$$

maka

$$\begin{aligned} \text{Var}(Z_i) &= e_i \Sigma e_i = \lambda_i & i=1,2,\dots,p \\ \text{Cov}(Z_i, Z_k) &= e_i \Sigma e_k = 0 & i \neq k \end{aligned} \quad (2.26)$$

Jika beberapa λ_i sama, maa pilihan vektor yang sesuai adalah e_i sehingga Z_i tidak tunggal. Rumusan ini merupakan persamaan *prinsipal componet* yang tidak berkolerasi dan memiliki varian sama terhadap nilai eigen pada matriks kovarian.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j1} - \bar{X}_1)^2 & \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j1} - \bar{X}_1)(X_{j2} - \bar{X}_2) & \text{L} & \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j1} - \bar{X}_1)(X_{jk} - \bar{X}_k) \\ \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j1} - \bar{X}_1)(X_{j2} - \bar{X}_2) & \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j2} - \bar{X}_2)^2 & \text{L} & \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j2} - \bar{X}_2)(X_{jk} - \bar{X}_k) \\ \text{L} & \text{L} & \text{L} & \text{L} \\ \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j1} - \bar{X}_1)(X_{jk} - \bar{X}_k) & \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{j2} - \bar{X}_2)(X_{jk} - \bar{X}_k) & \text{L} & \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{jk} - \bar{X}_k)^2 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

$$\Sigma \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \text{L} & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \text{L} & \sigma_{2p} \\ \text{L} & \text{L} & \text{L} & \text{L} \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \text{L} & \sigma_{pp} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Z_1 adalah komponen pertama yang memenuhi maksimum nilai $e_1 \Sigma e_1 = \lambda_1$, Z_2 adalah komponen kedua yang memenuhi sisa keragaman selain komponen pertama dengan memaksimumkan nilai $e_2 \Sigma e_2 = \lambda_2$, Z_p adalah komponen ke- p yang memenuhi sisa keragaman selain Z_1, Z_2, \dots, Z_{p-1} dengan memaksimumkan nilai $e_p \Sigma e_p = \lambda_p$. Urutan Z_1, Z_2, \dots, Z_p harus memenuhi $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$.

Sementara itu, total variansi populasi komponen utama adalah

$$\sigma_{11} + \sigma_{22} + \dots + \sigma_{pp} = \sum_{i=1}^p \text{Var}(X_i) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = \sum_{i=1}^p \text{Var}(Z_i) \quad (2.29)$$

Dari persamaan di atas, dapat dikatakan bahwa

$$\begin{aligned} \text{Total Variansi Populasi} &= \sigma_{11} + \sigma_{22} + \dots + \sigma_{pp} \\ &= \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p \end{aligned} \quad (2.30)$$

Sehingga proporsi total variansi populasi yang dijelaskan oleh principal componen ke-k adalah

$$\left(\begin{array}{l} \text{proporsi total variansi} \\ \text{populasi yang dijelaskan oleh} \\ \text{principal componen ke-k} \end{array} \right) = \frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (2.31)$$

jika $Z_i = e_i X = e_{i1} X_1 + e_{i2} X_2 + \dots + e_{ip} X_p$ merupakan *principal componen* yang terbentuk dari matriks covarian, maka

$$\rho_{z_i, x_k} = \frac{e_{ik} \sqrt{\lambda_i}}{\sqrt{\sigma_{kk}}} \quad i, k = 1, 2, \dots, p \quad (2.32)$$

merupakan koefisien korelasi antara komponen Z_i dan variabel X_k , dimana (λ_1, e_1) , (λ_2, e_2) , ..., (λ_i, e_i) pasangan nilai eigen dan vektor eigen. Menggunakan contoh pada **Tabel 2.1** didapat hasil perhitungan dari komponen utama yang ditampilkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Hasil perhitungan variansi dari komponen utama

Komponen Utama	Eigenvalues (λ_i)	Persentase Variasi (%)	Variasi Kumulatif
Z_1	33,53	83,6	83,6
Z_2	4,81	12,0	95,6
Z_3	0,94	2,3	98,0
Z_4	0,82	2,0	100,0

Eigenvalues yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.2** sebenarnya adalah varian dari masing-masing komponen utama. Jumlah dari *eigenvalues* sama dengan jumlah variabel atau jumlah komponen utama. Untuk contoh diatas jumlahnya adalah 4.

Persentase variasi menunjukkan berapa besar muatan “informasi” yang terdapat pada masing-masing sumbu komponen dan diperoleh dari $(\lambda_i/p \times 100\%)$. Berdasarkan **Tabel 2.2** tampak bahwa persentase varians untuk komponen utama pertama (Z_1) adalah yang paling tinggi yaitu sebesar 83,6% disusul oleh Z_2 , Z_3 dan Z_4 . Dalam kolom selanjutnya, komponen Z_1 dan Z_2 secara bersama-sama menghitung varians sebesar 95,6% dari total varians. Demikian pula Z_1 , Z_2 dan Z_3 secara bersama-sama menghitung sebesar 98,0% dari total varian, dari sini kelihatan bahwa 95,6% muatan informasi sudah dapat dijelaskan oleh Z_1 dan Z_2 saja.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat didefinisikan bahwa komponen utama pertama atau Z_1 adalah sumbu yang memaksimumkan varians dari titik-titik yang diproyeksikan secara tegak lurus dengan sumbu ini, sedangkan komponen utama kedua (Z_2) adalah sumbu yang tegak lurus dengan Z_1 dimana varian dari titik-titik yang diproyeksikan pada sumbu ini juga dimaksimumkan, demikian pula komponen utama ketiga (Z_3) adalah sumbu yang tegak lurus dengan Z_1 dan Z_2 . Tentu sangat sulit untuk melihat komponen-komponen utama yang lebih dari 3 dimensi dalam sebuah bidang datar. Oleh karena itu, visualisasi dalam ordinasi

umumnya menggunakan bidang datar berdimensi dua, baik itu antara Z_1 dengan Z_2 , Z_1 dengan Z_3 , atau Z_2 dengan Z_3 .

Hasil perhitungan selanjutnya adalah *eigenvector* yaitu koefisien-koefisien yang membentuk kombinasi linier dari komponen utama.

Tabel 2.3 Koefisien komponen utama

Variabel	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
<i>Species A</i>	0,188	-0,354	0,885	-0,237
<i>Species B</i>	-0,968	-0,186	0,151	0,073
<i>Species C</i>	-0,121	0,917	0,377	-0,057
<i>Species D</i>	0,112	-0,018	0,277	0,967

Berdasarkan **Tabel 2.3** ini, maka kombinasi linier yang terbentuk dapat dituliskan secara aljabar sebagai berikut :

$$Z_1 = 0,188 \text{ Sp.A} - 0,968 \text{ Sp.B} - 0,121 \text{ Sp.C} + 0,112 \text{ Sp.D}$$

$$Z_2 = -0,354 \text{ Sp.A} - 0,186 \text{ Sp.B} + 0,917 \text{ Sp.C} - 0,018 \text{ Sp.D}$$

$$Z_3 = 0,885 \text{ Sp.A} + 0,151 \text{ Sp.B} + 0,377 \text{ Sp.C} + 0,277 \text{ Sp.D}$$

Interpretasi dari kombinasi linier di atas adalah sebagai berikut, koefisien kombinasi linier komponen pertama untuk *Species A*, *C* dan *D* dapat dikatakan kecil atau bisa diabaikan, karena nilainya tidak begitu besar. Satu-satunya koefisien yang paling besar adalah *Species B*. Disini kelihatan bahwa Z_1 menunjukkan adanya kontribusi yang sangat tinggi dari kelimpahan *Species B* atau adanya dominasi dari spesies ini. Komponen Z_2 mengindikasikan jika

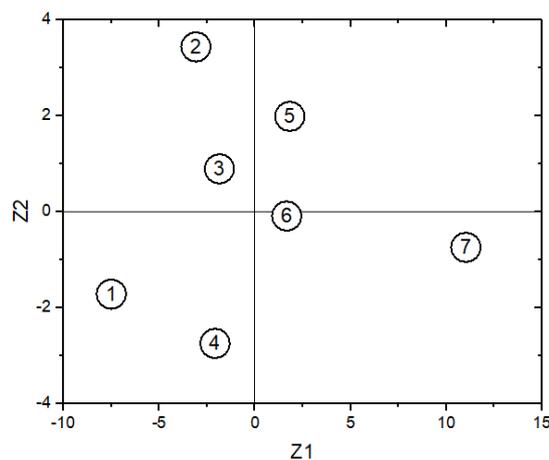
kelimpahan *Species B* tinggi akan diikuti oleh rendahnya kelimpahan *Species A*, sedangkan komponen Z_3 menunjukkan tingginya kelimpahan *Species A* akan diikuti oleh kelimpahan *Species C*.

Berdasarkan kombinasi linier yang terbentuk di atas, maka kita dapat menghitung skor dari masing-masing komponen utama dengan memasukkan nilai-nilai kelimpahan masing-masing spesies ke dalam persamaan tersebut, sehingga diperoleh tabel **Tabel 2.4** berikut.

Tabel 2.4 Skor komponen utama

Sampel	Skor Z_1	Skor Z_2	Skor Z_3	Skor Z_4
1	-7,500	-1,722	-0,683	1,291
2	-3,077	3,436	1,328	0,404
3	-1,857	0,890	-0,180	-0,465
4	-2,085	-2,752	0,612	-0,693
5	1,827	1,987	-1,671	-0,519
6	1,667	-0,093	0,383	-1,042
7	11,025	-0,747	0,211	1,025

Skor-skor di atas merupakan titik koordinat ordinasi untuk diplot dalam sumbu komponen yang diinginkan. Untuk contoh **Tabel 2.4**, ordinasi sampel dengan menggunakan sumbu Z_1 dan Z_2 dapat dilihat dalam **Gambar 2. 11**.



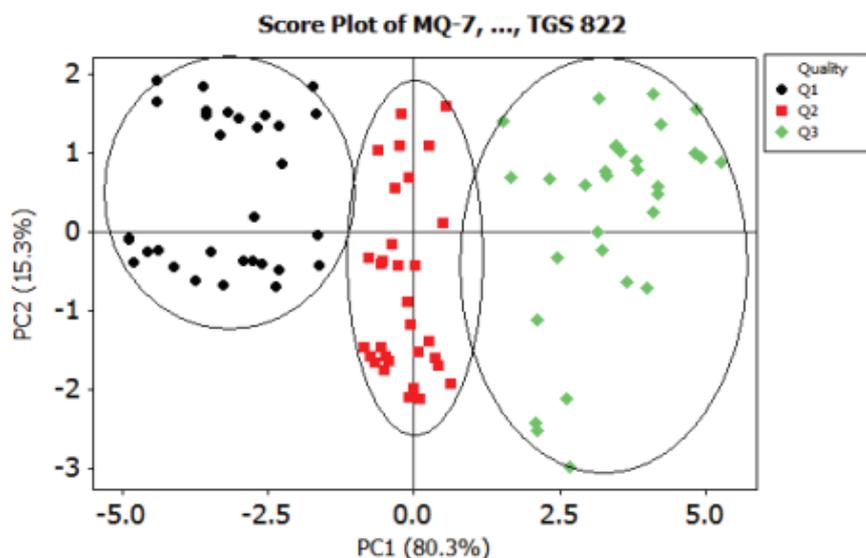
Gambar 2. 11 Ordinasasi sampel (Soedibjo, 2008)

Berdasarkan **Gambar 2. 11** tampak bagaimana sampel (stasiun) tergambar dalam bidang ordinasasi. Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan sampel-sampel tersebut berdasarkan jarak antar sampel. Meskipun ini agak subjektif, namun secara kasat mata dapat kita lihat bahwa struktur komunitas yang diamati terdiri dua kelompok yaitu sampel (2, 3, 4) dan sampel (5, 6), sedangkan sampel 1 dan 7 kelihatan terpisah dengan kedua kelompok ini. Mengapa terjadi pemisahan seperti ini merupakan tugas peneliti untuk mengkajinya, apakah karena adanya pengaruh faktor lingkungan atau faktor habitat yang berbeda, oleh karena itu, dalam mengkaji suatu komunitas, seorang peneliti hendaknya melengkapi informasi sebanyak-banyaknya untuk mendukung hasil yang dicapai.

Contoh lain pada aroma teh hitam yang mempunyai komposisi kompleks, sehingga data yang diukur dengan e-nose mengandung banyak informasi yang tumpang tindih. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu metode yang dapat mengurangi jumlah data yang besar dan menghilangkan informasi

yang tumpang tindih seperti analisis komponen utama PCA. PCA adalah metode pengenalan pola tanpa pengawasan yang digunakan dalam analisis multivariat (Lelono et al., 2016).

Pengukuran menggunakan e-nose telah dilakukan sebanyak 31 kali untuk setiap jenis sampel teh hitam. Aroma teh hitam diubah menjadi sinyal listrik (tegangan) oleh sensor gas. Sinyal listrik mewakili respon sensor gas. Respon sensor merupakan gambaran dari masing-masing sensor gas yang merespon sampel aroma dengan karakteristiknya. Khas sinyal respon dari sensor gas ketiga sampel teh hitam (Q1, Q2, dan Q3) memiliki kesamaan, baik kecepatan maupun respon amplitudo. Namun jika ditelaah lebih lanjut, sensor TGS 826, TGS 825, TGS 2620, MQ 7, TGS 813, TGS 2602, TGS 2600 dan TGS 822 memiliki amplitudo yang besar atau kuat dibandingkan dengan sensor TGS 832, TGS 2610, TGS 2611 dan TGS 2612. Baik sensor TGS 825 dan TGS 2620 memiliki sinyal amplitudo lebih dari 3500,0 mV, dan kemudian amplitudo sinyal di bawahnya dimiliki oleh sensor TGS 2602, TGS 2600 dan TGS 822. Perbedaan ketiga sampel teh hitam terletak pada TGS 826, MQ 7 dan TGS 813. Sedangkan sensor TGS 826 memberikan respon kuat pada Q3 (3136,0 mV) dan Q2 (2851,8 mV), namun memberikan respon lemah pada Q1 (2631,0 mV). mV). Selanjutnya, sensor MQ 7 dan TGS 813 memberikan respon yang kuat pada Q1 (2097,2 mV; 2058.0 mV) dan Q3 (1749.3 mV; 1989.4 mV).



Gambar 2. 12 Plot skor PCA (Lelono et al., 2016).

Berdasarkan **Gambar 2. 12** plot skor PC1 versus PC2 untuk kualitas teh hitam dianalisis dengan *e-nose*. Namun, plot skor dalam teh hitam mempunyai tiga kualitas (Q1, Q2, dan Q3) yang dapat dipisahkan dengan jelas oleh *e-nose*. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga kualitas teh hitam tersebut memiliki aroma yang berbeda satu sama lain. PC1 menjelaskan variasi 80,3% sedangkan PC2 menjelaskan variasi 15,3% sehingga akumulasi dua komponen utama diperoleh data varians 95,6%. Artinya jika kedua belas sensor gas digunakan sebagai variabel untuk mengklasifikasikan tiga kualitas teh hitam, maka sensor gas direduksi menjadi dua variabel. Dengan demikian, kedua variabel tersebut mampu menjelaskan 95,6% dari total variabilitas kedua belas variabel. Berdasarkan **Gambar 2. 12** dapat diamati bahwa jarak antara kelompok Q1 dekat dengan kelompok Q2 dan jauh dengan kelompok Q3. Alasan ini muncul karena unsur

penyusun yang menentukan kualitas teh hitam Q2 hampir memiliki unsur penyusun yang sama dengan Q1 dan Q3. Sedangkan Q1 memiliki unsur penyusun yang berbeda dengan Q3. Loading plot memberikan informasi tentang perilaku masing-masing sensor. Analisis pembebanan ini akan membantu mengidentifikasi sensor yang berkontribusi dalam klasifikasi sampel (Lelono et al., 2016).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2022 sampai dengan Juni 2022. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Kegiatan penelitian ini terdiri dari studi literatur, pengumpulan sampel, pengambilan data uji awal, pengenalan pola sampel PCA, pengelompokan sampel, pembuatan JST dengan *Matlab*, pengenalan sampel, analisa data dan penulisan laporan.

Tabel 3. 1 Kegiatan pelaksanaan penelitian

No	Program Kerja	Bulan			
		Mar	Apr	Mei	Jun
1.	Studi literature				
2.	Pengumpulan sampel				
3.	Pengambilan data uji awal				
4.	Pengenalan pola sampel				
4.	Pengelompokan sampel dengan PCA				
6.	Pembuatan JST dengan <i>Matlab</i>				
7.	Pengenalan sampel				
8.	Analisa data				

3.2 Alat dan Bahan

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

1. Sebuah alat *e-nose* terdapat sensor Gas berfungsi sebagai pendeteksi aroma sampel. *Arduino uno* digunakan sebagai mikrokontroler yang mengendalikan LCD dan pompa serta mengolah *output* dari sensor gas pada *e-nose*, dan LCD digunakan untuk menampilkan hasil analisa gas yang dimasukkan kedalam *chamber*. **Tabel 3.2.** menunjukkan sensor gas yang berfungsi untuk menganalisa sampel.

Tabel 3. 2 Jenis sensor gas beserta fungsinya

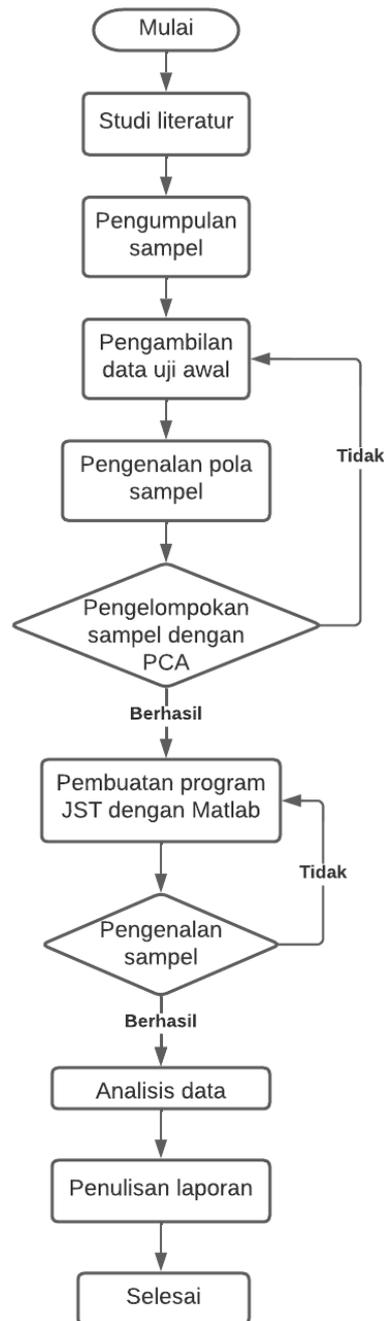
No	Jenis Sensor Gas	Gas yang dideteksi
1	MQ-3	Alkohol dan sedikit sensitif pada benzine
2	TGS-2600	hidrogen, karbon monoksida, dan etanol
3	TGS-2602	Gas berbau seperti amonia, etanol dan H ₂ S
4	TGS-822	Metana, Co, benzene dan aseton
5	TGS-2611	Metana, aseton dan gas alam

2. *Chamber* berfungsi sebagai ruang untuk sensor menganalisa gas yang dimasukkan.
3. Selang kecil berfungsi untuk mengalirkan gas yang akan dianalisa.
4. Pompa berfungsi untuk membuang gas yang ada di *chamber* setelah selesai melakukan analisis.
5. Tabung gas nitrogen berfungsi sebagai tempat menyimpan gas nitrogen. Gas nitrogen disini berfungsi untuk membersihkan *chamber* dan sensor. Gas nitrogen dipilih karena sensor tidak bereaksi pada gas nitrogen.

6. PC/Komputer berfungsi untuk akuisisi data dan mengelolah sinyal masukan dari arduino sehingga didapatkan data yang diinginkan.
7. *Software Matlab* R2015a yang berfungsi untuk komputasi, mengelola dan menganalisis ciri ekspirasi pernapasan manusia tersebut. Selain itu, *software Matlab* ini berfungsi untuk merancang JST mengenali aroma pada setiap jenis teh.
8. Sampel yang digunakan yaitu empat jenis teh diantaranya teh hijau, teh hitam, teh oolong dan teh putih.

3.3 Prosedur Penelitian

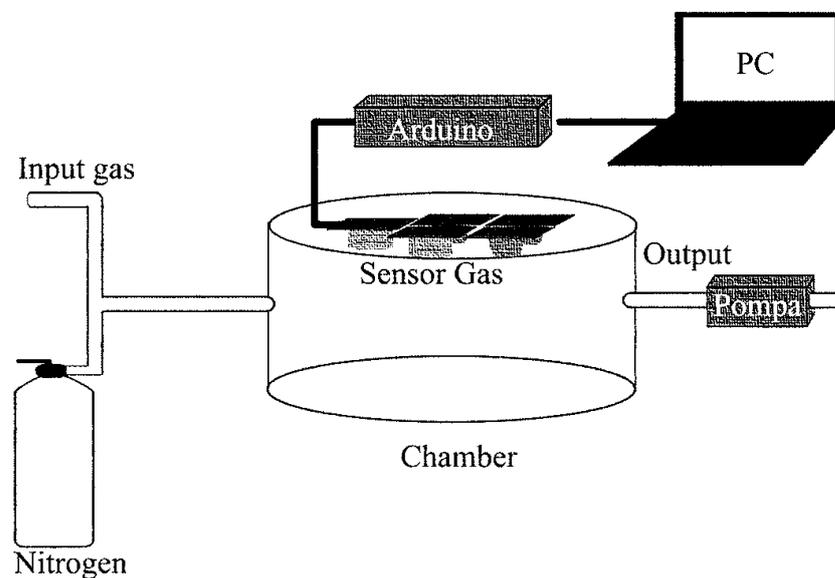
Metode yang dilakukan pada penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan antara lain studi literatur, pengumpulan sampel, pengambilan data uji awal, pengenalan pola sampel, pengelompokan sampel, pembuatan JST dengan *Matlab*, pengenalan sampel PCA, analisis data dan penulisan laporan. Untuk secara keseluruhan, pembuatan rancang bangun sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* untuk mendeteksi aroma pada empat jenis teh disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan seperti pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

1. Tahap studi literatur dilakukan dengan serangkaian kegiatan yang berkaitan dengan metode pengumpulan data pustaka, cara mempelajari buku, jurnal, ataupun referensi lain yang terkait dengan penelitian, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian.

2. Tahap pengumpulan data sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu teh hitam, teh hijau, teh putih dan teh oolong.
3. Tahap pengambilan data uji awal dilakukan dengan mengecek sistem dan perangkat *hardware e-nose*. Sensor gas yang digunakan terdiri dari MQ-3, TGS-2600, TGS-2602, TGS-2611, dan TGS-822. Berikut ini merupakan Skema Rancangan *E-nose* yang akan digunakan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



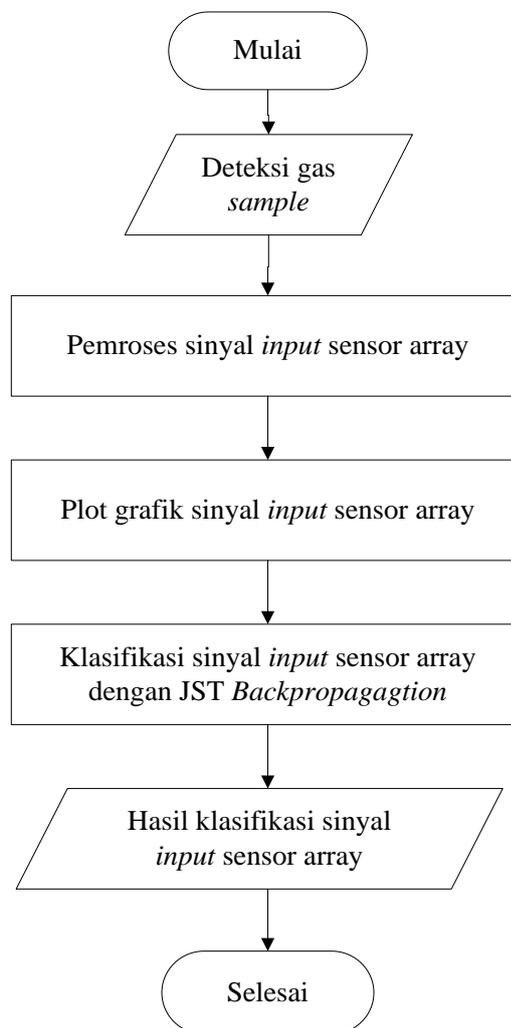
Gambar 3. 2 Skema Rancangan *E-nose*

Gas sampel akan melalui dua buah lubang pada *chamber*. Pada lubang pertama berfungsi untuk memasukkan gas sampel yang akan dianalisa, memasukkan gas nitrogen untuk membersihkan *chamber*, dan untuk mengeluarkan gas yang ada di dalam *chamber*. Kemudian, pada lubang kedua untuk mengeluarkan gas dipasang pompa yang berfungsi menarik gas keluar *chamber* yang dikendalikan oleh *arduino*. *Arduino* diletakkan

diluar *chamber* dan dihubungkan ke PC untuk mengolah keluaran sensor gas yang diterima.

4. Tahap pengenalan pola sampel dengan menggunakan plot grafik sinyal masukan sensor *array* yang merupakan proses *plotting* data yang diberikan oleh kelima sensor *array*. *Plotting* dilakukan secara *real time* sehingga proses pengambilan data dapat langsung diamati. Untuk menampilkan grafik secara *real time* digunakan *software Matlab GUI* sebagai *interface*. Pada tahap klasifikasi sinyal masukan sensor *array* dengan *JST back propagation* agar melatih *JST* untuk membedakan berbagai aroma teh yaitu teh hijau, teh hitam, teh oolong dan teh putih. Hasil yang ditampilkan berupa apakah gas yang dianalisa tergolong gas yang dimiliki sampel teh dan ditampilkan juga persentase deteksi gas/aroma yang dianalisa serta nilai error.
5. Tahap pengelompokkan sampel dengan *PCA* yang dilakukan setelah sensor berhasil melewati tahap pelatihan *JST* dengan baik. *PCA* merupakan bentuk proyeksi transformasi linier dari variabel data. Teknik penyederhanaan suatu data, dengan cara transformasi linear sehingga terbentuk sistem koordinat baru dengan variasi maksimum. *PCA* dapat digunakan untuk mereduksi dimensi suatu data tanpa mengurangi karakteristik data tersebut secara signifikan. Metode ini mengubah dari sebagian besar variabel asli yang saling berkorelasi menjadi satu himpunan variabel baru yang lebih kecil dan saling bebas (tidak berkorelasi lagi). Setelah sampel dikenali dan terbentuk pola sampel oleh *PCA* maka pada tahap ini beberapa sampel sudah siap untuk di analisa.

- Tahap pembuatan JST menggunakan *software Matlab R2015a* dengan metode *back propagation*. Metode *back propagation* merupakan metode pembelajaran lanjut yang dikembangkan dari aturan *perceptron*. Metode ini terdiri dari dua tahap, yaitu *feed forward* dan tahap *back propagation error*. JST ini yang akan digunakan untuk mengenali profil gas atau aroma dari empat jenis teh yaitu teh hijau, teh hitam, teh oolong dan teh putih.



Gambar 3.3. Diagram alir perancangan JST

Berdasarkan **Gambar 3.3** menjelaskan bahwa tahap pendeteksian gas sampel merupakan tahap pendeteksian oleh *array* sensor untuk mendeteksi gas yang dimasukkan kedalam *chamber*. Beberapa sinyal yang diperoleh dari sensor diproses oleh arduino dan dikirimkan ke PC menggunakan komunikasi serial.

Pelatihan JST diperoleh dengan melakukan uji pada sensor apakah dapat membedakan jenis aroma teh. Pendeteksian gas sampel merupakan tahap pendeteksian oleh sensor *array* untuk mendeteksi gas yang dimasukkan kedalam *chamber*. Tahap klasifikasi sinyal masukan sensor *array* dengan *JST back propagation* merupakan proses pengklasifikasian sinyal sensor *array* yang didapatkan. Proses ini juga dilakukan untuk melatih JST agar dapat mengidentifikasi aroma dari berbagai jenis teh.

7. Tahap ini melakukan analisa hasil terhadap data-data yang sudah diperoleh pada tahap sebelumnya.
8. Tahap penulisan laporan.

3.4 Pengujian dan Analisis Sistem

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi terhadap model JST yang telah dibuat dengan cara melakukan pengujian terhadap data yang berbeda dari data yang digunakan pada proses pelatihan JST. Analisa dilakukan dengan membentuk *confusion matrix* seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.3**, sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Rancangan Tabel *confusion matrix*

No	Indeks Hasil Identifikasi	Indeks Sebenarnya			
		Teh Hitam	Teh Hijau	Teh Oolong	Teh Putih
1	Teh Hitam				
2	Teh Hijau				
3	Teh Oolong				
4	Teh Putih				

Berdasarkan **Tabel 3.3** dapat dicari nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, presisi, dan nilai prediksi negatif dari setiap model JST yang diperoleh dari hasil pelatihan. Hasil perhitungan data *binary confusion matrix* kemudian ditampilkan pada **Tabel 3. 4**.

Tabel 3. 4 Rancangan Tabel *binary confusion matrix*

No	Jenis Teh Sebenarnya	Jenis Teh Hasil Prediksi		
1	Teh Hitam	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=
2	Teh Hijau	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=
3	Teh Oolong	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=
4	Teh Putih	TP=	FN=	Sensitivitas=
		FP=	TN=	Spesifisitas=
		Presisi=	Prediksi Negatif=	Akurasi=

Berdasarkan **Tabel 3. 4** menampilkan nilai dari setiap parameter model JST yaitu akurasi, presisi, sensitivitas, spesifisitas dan prediksi negatif. Adapun nilai akurasi yang berarti pengukuran kuantitas terhadap hasil prediksi data sampel yang sesuai dengan data aktual, sedangkan nilai prediksi negatif merupakan perbandingan dari hasil data sampel yang tidak sesuai dan hasil data sampel yang sesuai. Selanjut-

nya, nilai spesifisitas menunjukkan kemampuan data aktual yang tidak sesuai dari seluruh data prediksi, sedangkan nilai sensitivitas menunjukkan kemampuan data yang sesuai dari seluruh data aktual atau data sebenarnya. Nilai presisi data latih terbesar diartikan sejauh mana pengulangan pengukuran data dalam kondisi yang tidak berubah untuk mendapatkan hasil yang sama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Penerapan sistem *e-nose* menggunakan JST dengan metode *back propagation* telah mampu mengenali aroma teh hitam, teh hijau, teh oolong dan teh putih dengan 5 *neuron hidden layer* sebagai *hidden layer* tertinggi dan terbaik.
2. Korelasi data respon sensor untuk masing-masing aroma teh sehingga PCA mampu mengklasifikasikan data baik pada data latih sebesar 83,38% maupun data uji sebesar 80,15%.
3. Seluruh nilai rerata parameter model JST yaitu akurasi, presisi, sensitivitas, spesifisitas dan prediksi negatif memiliki nilai lebih besar dari 95,0% untuk pelatihan data maupun pengujian data yang berarti tingkat pengenalan terdeteksi dengan sangat baik.

5.2. Saran

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

1. Menggunakan sensor yang lebih selektif terhadap aroma teh hitam, teh hijau, teh oolong dan teh putih untuk meningkatkan sensitivitas *e-nose*.
2. Melakukan penelitian *e-nose* terhadap jenis sampel teh lainnya yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Muttalib, S., Nugraha WK, J., & Bintoro, N. (2019). Analisis Kadar Air dan Aroma Blending Kopi Arabika (*Coffea arabica* L) dan Robusta(*Coffea canephora* L) Selama Penyimpanan Dengan Principal Component Analisis (PCA). *Jurnal Agrotek Ummat*, 6(1), 23–24.
- Aleixandre, M., Santos, J. P., Sayago, I., Cabellos, J. M., Arroyo, T., & Horrillo, M. C. (2015). A wireless and portable electronic nose to differentiate musts of different ripeness degree and grape varieties. *Sensors*, 15(4), 8429–8443.
- Amrutha, J., & Ajai, A. S. R. (2018). Analisis Kinerja Algoritma Backpropagation Jaringan Syaraf Tiruan di Verilog. In *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)* (3rd IEEE I).
- Arisudin, A., Yahya, M., & Erwanto, D. (2021). Klasifikasi Aroma Teh Dengan Menggunakan Sensor Gas Berbasis Arduino Uno. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 2(02), 115–127.
- Astuti, W., Lelono, D., & Faizah. (2016). Identifikasi Tahu Berformalin dengan Electronic Nose Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *IJEIS*, 6(2), 211–220.
- Baskara, S., Lelono, D., & Widodo, T. W. (2016). Pengembangan Hidung Elektronik untuk Klasifikasi Mutu Minyak Goreng dengan Metode PCA. *IJEIS*, 6(2), 221–230.
- Blanco-Rodríguez, A., Camara, V., Campo, F., Becherán, L., Durán Carrillo de Albornoz, A., Vieira, V., Melo, H., & Ramirez, A. R. G. (2018). Development of an electronic nose to characterize odours emitted from different stages in a wastewater treatment plant. *Water Research*, 134(32), 92–100.
- Cahyono, B. (2016). Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier. *Phenomenon : Jurnal Pendidikan MIPA*, 3(1), 45–62.
- 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.

Desiani, A., & Arhami, M. (2006). *Konsep Kecerdasan Buatan*. ANDI.

Dwisudar, D. (2016). *Development Design Sensor Chamber of Electronic Nose*. Universitas Gajah Mada.

Ezhilan, M., Nesakumar, N., Karanam, J., Chakravarthy, S., & Rayappan, J. B. B. (2018). An Electronic Nose for Royal Delicious Apple Quality Assessment – A Tri-layer Approach. *Food Research International*, 109(18), 4–30.

Fadhlillah, R. (2019). *Rancang Bangun Sistem Electronic Nose Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dengan Metode Back Propagation untuk Mendeteksi Penyakit Diabetes Militus*. Universitas Lampung.

Ghasemi-Varnamkhashti, M., Apetrei, C., Lozano, J., & Anyogu, A. (2018). Potential use of electronic noses, electronic tongues and biosensors as multisensor systems for spoilage examination in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 80(18), 1–22.

Ghosh, S., Tudu, B., Bhattacharyya, N., & Bandyopadhyay, R. (2019). A recurrent Elman network in conjunction with an electronic nose for fast prediction of optimum fermentation time of black tea. *Neural Computing and Applications*, 31(2), 1165–1171.

Hasanati, Z., & Meidelfi, D. (2020). Kajian Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation Untuk Deteksi Bau. *Journal of Applied Computer Science and Technology (JACOST)*, 1(2), 90–95.

Herlambang, T., Djatmiko, E. B., & Nurhadi, H. (2015). Mechanical Engineering Mechanical Engineering Mechanical Engineering Engineering. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, 9(6), 553–560.

Huang, D., & Wu, Z. (2017). Forecasting outpatient visits using empirical mode decomposition coupled with back-propagation artificial neural networks optimized by particle swarm optimization. *PLOS ONE*, 12(2), 1–18.

Ifadah, A. (2011). Analisis Metode Principal Component Analysis (Komponen Utama) dan Regresi Ridge Dalam Mengatasi Dampak Multikolinearitas Dalam Analisis Regresi Linear Berganda. In *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.

Inca, Widodo, T. W., & Lelono, D. (2018). Klasifikasi Teh Hijau dan Teh Hitam Tambi-Pagilaran dengan Metode PCA Menggunakan E-Nose. *IJEIS*, 8(1), 61–72.

Irawan, F. A. (2012). *Buku Pintar Pemrograman Matlab*. Mediakom.

- Karthigai, S., & Sundaram, K. M. (2020). Categorization of Lung Carcinoma Using Multilayer Perceptron in Output Layer. *ICTACT Journal on Soft Computing*, 10(2), 2035–2039.
- Khusniyah, T. W. (2016). *Prediksi Nilai Tukar Petani Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation*. 3(1), 11–18.
- Kustian, N. (2016). Principal Component Analysis untuk Sistem Pengenalan Wajah dengan Menggunakan Metode Eigenface. *Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi (STRING)*, 1(2), 193–202.
- Lelono, D., & Triyana, K. (2019). Suhu Pemanas Sampel Optimal Untuk Klasifikasi Teh Hitam Menggunakan Electronic Nose. *IJEIS*, 9(1), 45–54.
- Lelono, D., Triyana, K., Hartati, S., & Istiyanto, J. (2017). Development of Electronic Nose with High Stable Sample Heater to Classify Quality Levels of Local Black Tea. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 771(5), 50–54.
- Lelono, D., Triyana, K., Hartati, S., & Istiyanto, J. E. (2016). Classification of Indonesia black teas based on quality by using electronic nose and principal component analysis. *AIP Conference Proceedings*, 1755(12), 020003.1-020003.5.
- Lesnussa, Y. A., Sinay, L. J., & Idah, M. R. (2017). Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) di Kota Ambon. *Jurnal Matematika Integratif*, 13(2), 63–72.
- Macías, M. M., Agudo, J. E., Manso, A. G., Orellana, C. J. G., Velasco, H. M. G., & Caballero, R. G. (2014). Improving short term instability for quantitative analyses with portable electronic noses. *Sensors*, 14(6), 10514–10526.
- Mazen, F. M. A., & Nashat, A. A. (2019). Ripeness Classification of Bananas Using an Artificial Neural Network. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(8), 6901–6910.
- 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.
- Nugraha, A., Sumarwan, U., & Simanjuntak, M. (2017). Faktor Determinan Preferensi dan Perilaku Konsumsi Teh Hitam dan Hijau. *Jurnal Manajemen Dan Agribisnis*, 14(3), 198–208.
- Nurraharjo, E. (2015). Implementasi Pemrograman Interfacing MATLAB-Arduino. *Jurnal Teknologi Informasi Dinamika*, 20(2), 100–105.
- Parinduri, I. (2018). Model Dan Simulasi Rangkaian RLC Menggunakan Aplikasi

- Matlab Metode Simulink. *Journal of Science and Social Research*, 1(1), 42–47.
- Putra, O. A., Firdaus, & Heryansyah, M. H. (2016). Identifikasi Aroma Teh dengan E-nose Menggunakan Metode Backpropagation. *UMJ*, 34(1), 1–8.
- Rahman, I. N., Lelono, D., & Triyana, K. (2018). Klasifikasi Kakao Berbasis e-nose dengan Metode Neuro Fuzzy. *IJEIS*, 8(1), 49–60.
- Ralisnawati, D., Sukartiko, A. C., Suryandono, A., & Triyana, K. (2018). Detecting aroma changes of local flavored green tea (*Camellia sinensis*) using electronic nose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1), 1–7.
- Rohdiana, D. (2015). Proses, Karakteristik Teh & Komponen Fungsionalnya. *Food Review Indonesia*, 10(8), 34–38.
- Sari, B. L., Rahayu, D. P., Rohdiana, D., Nurlita, S., & Sahara, P. S. (2018). Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma terhadap Kandungan Flavonoid dan Tanin Total Teh Putih (*Camellia sinensis* L.) dan Benalu Teh (*Scurulla atropurpurea* BL. Dans). *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, 8(1), 1–9.
- Soedibjo, B. S. (2008). Analisis Komponen Utama Dalam Kajian Ekologi. *Oseana*, 33(2), 43–53.
- Sudarmadji, A., & Gunawan, B. (2017). Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan pada Sistem E-Nose. *Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017*, 4(1), 317–325.
- Suhariyanto. (2019). Statistik Teh Indonesia. In Subdirektorat Statistik Tanaman Perkebunan (Ed.), *Statistik Teh Indonesia* (p. 94). Badan Pusat Statistik.
- Sun, F., Wu, Z., Chen, Y., Li, J., He, S., & Bai, R. (2018). Analysis of odors from thermally modified bamboo assessed by an electronic nose. *Building and Environment*, 144(57), 386–391.
- Wahjuningsih, S. (2018). Komparasi Aktivitas Antioksidatif Ekstrak Teh Putih (*Camellia sinensis* Linn.) Dibandingkan Ekstrak Biji Anggur dan BHA pada Berbagai Konsentrasi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 7(2), 62–67.
- Windarto, A. P. (2017). Implementasi JST Dalam Menentukan Kelayakan Nasabah Pinjaman Kur Pada Bank Mandiri Mikro Serbelawan Dengan Metode Backpropagation. *Jurnal Sains Komputer Dan Informatika (J-SAKTI)*, 1(1), 12–23.