

**RANCANG BANGUN ALAT *IDENTIFIKASI* KEMURNIAN AROMA
BUBUK KOPI *BLENDING* KOPI LUWAK DAN KOPI ARABIKA
DENGAN *ELECTRONIC NOSE* MENGGUNAKAN METODE JST
*BACKPROPAGATION***

(Skripsi)

Oleh

Riantika Fitri



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PURITY IDENTIFICATION TOOL FOR BLENDING LUWAK AND ARABICA COFFEE AROMA USING ELECTRONIC NOSE WITH BACKPROPAGATION ANN METHOD

BY

RIANTIKA FITRI

Coffee is one of the important plantation commodities in the economy, serving as a source of foreign exchange for the country. With the increasing coffee consumption in society, particularly due to lifestyle changes and technology, the quality of coffee is gaining more attention. Aroma is a crucial attribute in assessing coffee quality. This study aims to build an architecture of Artificial Neural Networks (ANN) to identify the purity of the aroma of luwak and arabica coffee powder, and to integrate it into a purity identification tool based on aroma. The method used is an e-nose sensor with pattern recognition through ANN. The samples analyzed include 100% luwak coffee powder, 100% arabica, and various mixtures (50%-50%, 75%-25%, and 25%-75%). The research results show purity predictions: the 100% mixture reached 98%, 75% was 75%, 50% was 64%, 25% was 69%, and the 0% mixture was 98%. These results demonstrate the potential of ANN in identifying the purity of coffee aromas. This result shows that the e-nose sensor can detect the purity of coffee powder with an accuracy of up to 98% within 0 to 20 minutes.

Keywords: coffee, sensor, artificial neural networks

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT *IDENTIFIKASI* KEMURNIAN AROMA BUBUK KOPI *BLENDING* KOPI LUWAK DAN KOPI ARABIKA DENGAN *ELECTRONIC NOSE* MENGGUNAKAN METODE JST *BACKPROPAGATION*

OLEH

RIANTIKA FITRI

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang penting dalam perekonomian, berperan sebagai penghasil devisa negara. Dengan meningkatnya konsumsi kopi di masyarakat, terutama karena gaya hidup dan teknologi, kualitas kopi semakin diperhatikan. Aroma merupakan salah satu sifat penting dalam menilai kualitas kopi. Penelitian ini bertujuan membangun arsitektur Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk mengidentifikasi kemurniaan aroma bubuk kopi luwak dan arabika, serta mengintegrasikannya ke dalam alat identifikasi kemurnian kopi berdasarkan aroma. Metode yang digunakan adalah sensor e-nose dengan pengenalan pola JST. Sampel yang dianalisis meliputi bubuk kopi luwak 100%, arabika 100%, serta variasi campuran (50%-50%, 75%-25%, dan 25%-75%). Hasil penelitian menunjukkan prediksi kemurnian: campuran 100% mencapai 98%, 75% sebesar 75%, 50% sebesar 64%, 25% sebesar 69%, dan campuran 0% sebesar 98%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor *e-nose* mampu mendeteksi kemurnian bubuk kopi dengan akurasi sampai dengan 98% dalam waktu 0 sampai dengan 20 menit.

Kata kunci: kopi, sensor, jaringan saraf tiruan

**RANCANG BANGUN ALAT *IDENTIFIKASI* KEMURNIAN AROMA
BUBUK KOPI *BLENDING* KOPI LUWAK DAN KOPI ARABIKA
DENGAN *ELECTRONIC NOSE* MENGGUNAKAN METODE *JST
BACKPROPAGATION***

Oleh

Riantika Fitri

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

**RANCANG BANGUN ALAT IDENTIFIKASI
KEMURNIAN AROMA BUBUK KOPI BLENDING
KOPI LUWAK DAN KOPI ARABIKA DENGAN
ELECTRONIC NOSE MENGGUNAKAN METODE
JST BACKPROPAGATION**

Nama Mahasiswa

Riantika Fitri

No. Pokok Mahasiswa

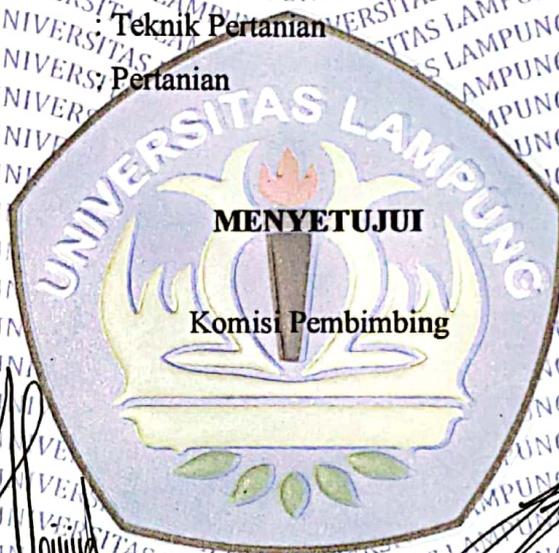
1914071006

Jurusan

Teknik Pertanian

Fakultas

Pertanian



Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.

NIP. 198803252015041001

NIP. 199002262019031012

Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.

NIP. 196210101989021002

MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

Ketua : Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.

Sekretaris : Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si.**

**Dekan Fakultas Pertanian
Dr. Ir. Kusyanta Futas Hidayat, M.P.
NIP.196411181989021002**

Tanggal lulus ujian skripsi : 22 Januari 2024



PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Riantika Fitri** NPM. 1914071006. Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, **Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P.,M.Sc.**, **Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P.**, dan **Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si.**, berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll.) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung,

Yang membuat pernyataan,



Riantika Fitri
NPM. 1914071006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang, pada tanggal 11 November 2001, Penulis lahir dari pasangan Bapak Subari dan Ibu Nelasari, sebagai anak kedua. Pada tahun 2005 sampai 2007 penulis menempuh pendidikan taman kanak-kanak di TK Babul Iimi, lalu dilanjutkan dengan pendidikan dasar di SDN 1 Sidodadi Bandar Lampung dari tahun 2007 sampai dengan 2013. Setelah menyelesaikan Sekolah Dasar penulis

melanjutkan pendidikan di SMPN 22 Bandar Lampung 2013-2016. Penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2016-2019 di SMA UTAMA 2 Bandar Lampung di Kota Bandar Lampung Provinsi Lampung .

Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Penulis juga aktif dalam organisasi yaitu Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP). Penulis pernah menjadi Bendahara Bidang Dana dan Usaha (DANUS). PERMATEP pada periode 2021 serta menjabat sebagai Sekretaris Bidang Dana dan Usaha (DANUS) PERMATEP pada periode 2022.

Pada bulan Januari sampai Februari 2022 penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Kelurahan Sukarame Bandar Lampung. Lalu pada bulan Juni sampai Agustus 2022 penulis melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) selama 40 hari di Balai Pelatihan Pertanian (BPP) Lampung.

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya.” (QS. Al Baqarah 286)

Dengan penuh syukur atas ridho Allah yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis mempersembahkan hasil karya ini kepada:

Ayahku Subari dan Ibuku Nelasari

SANWACANA

Puji syukur atas keberkahan dan nikmat yang diberikan oleh Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta nikmat iman, nikmat sehat dan nikmat sempat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dalam penyusunan skripsi yang berjudul “**RANCANG BANGUN ALAT *IDENTIFIKASI KEMURNIAN AROMA BUBUK KOPI BLENDING KOPI LUWAK DAN KOPI ARABIKA DENGAN *ELECTRONIC NOSE* MENGGUNAKAN METODE JST *BACKPROPAGATION****”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam menyusun skripsi ini banyak mendapat bantuan, masukan serta saran dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir.Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat;
3. Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P.,M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan motivasi, masukan, bimbingan, dan saran selama penelitian hingga penyusunan skripsi;

5. Ibu Dr. Siti Suharyatun. S.T.P., M.Si., selaku dosen Penguji yang telah memberikan masukan, saran serta arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen dan para Karyawan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
7. Bapak Subari, dan ibu Nelasari, selaku orang tua penulis yang telah memberikan doa, semangat, dukungan, dan finansial dalam melaksanakan penyusunan skripsi.
8. Angga Saputra, Irma Yunita, Puspita Sari, dan Muhammad Iqbal sebagai kakak dan adik penulis yang selalu memberikan masukan dan semangat kepada penulis sehingga membuat penulis tidak merasa lengah dalam pengerjaan skripsi ini;
9. Ella Wigustina, Intan Cahya Anjalni, Adellia Dewi Briany, Kezia Yesi Meilani, Sindi Palupi, Ahmad Ashro, selaku sahabat penulis selama perkuliahan dan teman seperjuangan selama penelitian dan pengerjaan skripsi.
10. Nadia Marchella dan Inka Triana selaku sahabat SMA penulis sebagai tempat berkeluh kesah, memberikan motivasi, dan memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi.
11. Muhammad Ikhwanasyah selaku salah satu orang yang menjadi penyemangat karena selalu menemani dan menjadi support sistem penulis pada hari yang tidak mudah disaat penulisan skripsi.
12. Keluarga Teknik Pertanian 2019 yang menjadi keluarga serta cerita perjuangan penulis selama perkuliahan. Terimakasih atas kebersamaan, doa, dukungan, dan semangat hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
13. Kepada semua pihak yang telah berjasa membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga kebaikan tersebut mendapat balasan dari Allah SWT.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| DAFTAR ISI | i |
| DAFTAR TABEL | iv |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Hipotesis..... | 4 |
| 1.6 Batasan Masalah..... | 5 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Kopi | 6 |
| 2.2 Kopi Luwak..... | 8 |
| 2.3 <i>E-Nose (Electronic Nose)</i> | 10 |
| 2.4 Sensor Gas | 10 |
| 2.4.1 Sensor TGS 2600 | 11 |
| 2.4.2 Sensor MQ-136..... | 11 |
| 2.4.3 Sensor TGS 822 | 12 |
| 2.4.4 Sensor TGS 813 | 13 |
| 2.5 Sistem Kendali | 14 |
| 2.6 <i>Mikrokontroler</i> | 15 |
| 2.7 Jaringan Saraf Tiruan (JST)..... | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.8 Kebaruan Penelitian | 18 |
| III. METODE PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 21 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 21 |
| 3.2.1 Alat..... | 21 |
| 3.2.2. Bahan | 22 |
| 3.3 Parameter Penelitian..... | 22 |
| 3.4 Kriteria Desain | 23 |
| 3.5 Prosedur Penelitian..... | 25 |
| 3.6 Nilai ADC (<i>Analog Digital Converter</i>)..... | 27 |
| 3.7 Perancangan <i>Software</i> | 28 |
| 3.7.1 Perancangan Jaringan Saraf Tiruan | 28 |
| 3.7.2 Pembentukan Persamaan Matematika dari Model JST yang Dihasilkan ... | 29 |
| 3.7.3 Integrasi Model Persamaan Matematika Ke dalam <i>Mikrokontroler</i> | 29 |
| 3.8 Analisis Data | 29 |
| 3.8.1 <i>Koefesian Determinasi</i> (R^2)..... | 29 |
| 3.8.2 <i>RMSE dan RRMSE</i> | 30 |
| 3.8.3 <i>Analisis of Variance</i> (ANOVA)..... | 31 |
| 3.9 Pemrograman..... | 31 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 33 |
| 4.1 Hasil Perancangan Sensor <i>E-Nose</i> | 33 |
| 4.2 Hubungan Antara Aroma Bubuk Kopi dengan Nilai ADC..... | 35 |
| 4.3 Kalibrasi Rancangan Alat Sensor..... | 40 |
| 4.3.1 Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan..... | 40 |
| 4.3.2 Persamaan Matematika dari Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan | 47 |
| 4.4 Integrasi Model JST dengan <i>Mikrokontroller</i> | 53 |
| 4.4.1 Penyesuaian Nilai Jaringan Saraf Tiruan..... | 54 |
| 4.5 Hubungan Antara Kestabilan Nilai Aktual dan Prediksi Kemurnian Bubuk Kopi | 55 |
| 4.6 <i>Analisis of Variance</i> (ANOVA)..... | 57 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 4.7 Validasi Data | 60 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN | 63 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 63 |
| 5.2 Saran | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | 65 |
| LAMPIRAN..... | 67 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | <i>Text</i> | Halaman |
|---|-------------|---------|
| 1. Tabel Penelitian..... | | 19 |
| 2. Unit Percobaan | | 23 |
| 3. Skala Perhitungan Nilai oleh ADC | | 27 |
| 4. Jenis-Jenis Sensor Dan Fungsinya | | 34 |
| 5. Daftar Hasil Pelatihan Model Kalibrasi JST Terbaik Pada Tiap Variasi Input | | 43 |
| 6. Daftar Hasil Pengujian Model Kalibrasi JST Terbaik Pada Tiap Variasi Input | | 46 |
| 7. ANOVA Sensor MQ-136 Dengan Taraf $\alpha = 5\%$ | | 58 |
| 8. Hasil Uji BNT Faktor Kemurnian Terhadap Nilai Adc | | 58 |
| 9. Nilai Validasi Data | | 61 |

Lampiran

| | | |
|-----------------------------------|--|----|
| 10. Data Penelitian JST | | 69 |
| 11. Tabel Data Pengujian JST..... | | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 1. Sensor TGS 2600 | 11 |
| 2. Sensor MQ-136 | 12 |
| 3. Sensor TGS 822 | 13 |
| 4. Sensor TGS 813 | 14 |
| 5. Diagram Alir <i>Backpropagation</i> | 17 |
| 6. Proses Training <i>Backpropagation</i> | 18 |
| 7. Desain Alat Pendeteksi Kemurnian Bubuk Kopi ; (a) Tampak Depan ; (b) Gambar 3D; (c) Tampak Samping | 24 |
| 8 Diagram Alir Penelitian | 25 |
| 9. Blok Diagram | 26 |
| 10. Arsitektur Jaringan | 28 |
| 11. Alur Pemrograman | 32 |
| 12. <i>Chamber</i> Sampel Kopi..... | 33 |
| 13. Komponen Sensor | |
| 14. Sampel Kopi..... | 34 |
| 15. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 0% | 35 |
| 16. Nilai ADC Bubuk Kopu Luwak 25% | 36 |
| 17. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 50% | 36 |
| 18. Nilai ADC Bubuk Kopu Luwak 75% | 37 |
| 19. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 100% | 37 |
| 20 Grafik perbandingan nilai sensor terhadap persentase kemurnian kopi (a) Sensor MQ-136, (b) Sensor TGS 822, (c) Sensor TGS 2600, (d) Sensor TGS 813 | 39 |
| 21. Grafik Stabilitas Sensor..... | 40 |
| 22. Tampilan Layar Pada <i>Software</i> MATLAB | 41 |
| 23. Hasil JST plot perform | 42 |
| 24. Hasil Jaringan Saraf Tiruan plot <i>regression</i> | 42 |
| 25. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tujuan Input (Presentase Kemurnian).... | 44 |

| | |
|---|----|
| 26. Grafik Pengujian Model Jaringan Saraf Tujuan <i>Input</i> (Presentase Kemurnian)... | 47 |
| 27. Tampilan folder bobot dan bias yang tersimpan dalam bentuk .txt | 48 |
| 28. Proses input model matematika ke dalam <i>mikrokontroler</i> | 54 |
| 29. Grafik Hubungan Nilai Aktual dan Prediksi Kemurnian Bubuk Kopi | 56 |
| 30. Grafik Stabilitas Nilai Prediksi dan Aktual Kemurnian Kopi..... | 57 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi termasuk dalam salah satu komoditi perkebunan yang cukup penting dalam bidang perekonomian yaitu sebagai penghasil devisa negara. Angka produksi kopi di Indonesia mencapai 774,6.000 ton pada 2021. Nilai tersebut naik 2,75% dari tahun sebelumnya yang sebesar 753,9.000 ton. Produksi kopi Indonesia mengalami fluktuasi dalam satu dekade terakhir. Volume ekspor kopi hingga 2020 mencapai 186,8.000 ton. Jumlah tersebut naik 10,69 % dibandingkan tahun sebelumnya pada periode yang sama. Namun, nilai ekspornya justru turun 8,01 % (Badan Pusat Statistik, 2021).

Kopi yang telah diolah menjadi minuman, sangat digemari oleh masyarakat dunia. Hal ini karena kopi merupakan minuman yang memiliki rasa yang khas dan juga didorong oleh beberapa faktor diantaranya yaitu faktor tradisi, sejarah, sosial serta kepentingan ekonomi sehingga menjadikan daya tarik tersendiri bagi kalangan masyarakat di dunia (Maulidan & Alam, 2018). Saat ini tingkat konsumsi kopi dalam masyarakat semakin meningkat dikarenakan dari pengaruh gaya hidup serta dukungan dari teknologi. Cita rasa yang khas pada minuman kopi ini berasal dari biji kopi pilihan yang sudah diproses menjadi bentuk bubuk. Kemudian kopi dapat disajikan dengan cara diseduh dan inilah yang menimbulkan aroma kopi yang unik, khas, dan tentunya berbeda dengan minuman lainnya. Salah satu sifat penting untuk

mengukur kualitas kopi adalah dengan aroma yang dimiliki oleh masing-masing jenis kopi. Di Indonesia terdapat dua jenis kopi yang umum dibudidayakan, yaitu kopi Robusta dan kopi Arabika. Selain dua jenis kopi tersebut, Provinsi Lampung juga memproduksi kopi luwak. Kopi luwak tidak didapat dari jenis tanaman kopi tertentu namun berasal dari buah kopi yang dikonsumsi oleh hewan luwak atau musang (*Paradoxurus hermaproditus*). Dalam penelitian ini saya mencampurkan dua jenis kopi yaitu arabika dan luwak, karena dengan mencampurkan kopi luwak dan bubuk kopi Arabika, kita dapat membandingkan karakteristik aroma kopi yang dihasilkan oleh keduanya secara langsung. Hal tersebut membantu dalam mengidentifikasi perbedaan antara aroma kopi luwak dan kopi Arabika dan menentukan kemurnian kopi luwak.

Untuk membedakan aroma dari jenis kopi tersebut sangat sulit, dikarenakan oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi manusia yang masih lemah, metode analisis yang kurang, serta peralatan yang digunakan belum memadai. Uji laboratorium dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemurnian bubuk kopi, tetapi membutuhkan waktu lebih dari sehari sehingga tidak efisien. Oleh karena itu dibutuhkan suatu inovasi alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemurnian bubuk kopi dengan cepat dan tepat. Identifikasi kemurnian bubuk kopi diperlukan agar memastikan bahwa kopi yang dikonsumsi oleh konsumen tidak dicampur dengan bahan lain yang dapat mempengaruhi kualitas dan keselamatan kopi. Identifikasi kemurnian bubuk kopi dapat juga dilakukan dengan *spektrofotometer UV-Vis* namun uji kemurnian dengan *UV-Vis* hanya memberikan informasi tentang kandungan kafein dan tidak mencakup faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kualitas keseluruhan kopi.

Salah satu inovasi alat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemurnian bubuk kopi ialah menggunakan *Electronic nose*. Prinsip kerja *e-nose* sendiri ialah menirukan fungsi hidung manusia, yang di dalamnya ditemukan berbagai reseptor pengidentifikasi bau (Chen S dkk, 2013). Reseptor-reseptor tersebut digantikan fungsinya oleh sensor yang ada pada *e-nose*, setiap reseptor akan memberikan respon

yang berbeda-beda dari uap aroma yang sama. *Electronic nose* dapat dimanfaatkan di berbagai bidang aplikasi, antara lain untuk mengukur serta menentukan kualitas makanan, pendeteksian berbagai macam gas dan racun, serta memonitor pencemaran udara.

Perancangan alat yang mengintegrasikan sensor ke dalam mikrokontroler dapat menggunakan sistem Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan metode *Backpropagation*. JST dengan metode *Backpropagation* sangat cocok digunakan dalam menangani permasalahan identifikasi, terutama masalah prediksi dikarenakan tingkat perhitungan dan keakuratannya yang cukup tinggi (Matondang, 2013). Perlu adanya identifikasi kemurniaan karena kopi sebagai komoditas dengan harga yang tinggi rawan untuk dipalsukan sehingga permasalahan tersebut dapat merugikan distributor kopi, dan konsumen yang membutuhkan kopi tanpa campuran. Pengujian kopi sebenarnya dapat dilakukan dengan uji laboratorium, namun metode itu membutuhkan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknologi yang dapat digunakan untuk mempermudah dalam mengetahui tingkat kemurnian kopi, salah satunya yaitu menggunakan sistem *e-nose* dengan metode JST *backpropagation* yang mampu mendeteksi aroma seperti layaknya hidung manusia. Alat ini dapat mendeteksi dan mengetahui lebih cepat tingkat kemurnian kopi berdasarkan aroma bubuk kopi dibanding dengan metode uji laboratorium.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara memperoleh nilai kemurnian pada aroma *blending* bubuk kopi luwak dan arabika?
2. Bagaimana hasil pembacaan kemurnian kopi dari sensor *e-nose* ?
3. Bagaimana cara memaksimalkan identifikasi aroma kopi dengan sensor *e-nose*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun arsitektur Jaringan Saraf Tiruan untuk identifikasi kemurniaan aroma bubuk kopi luwak dan arabika.
2. Mengintegrasikan Jaringan Saraf Tiruan ke dalam alat identifikasi kemurnian kopi berdasarkan aroma.
3. Mendapatkan nilai kemurnian pada aroma campuran *blending* bubuk kopi luwak dan arabika menggunakan *e-nose* dengan metode Jaringan Saraf Tiruan.
4. Mengklasifikasikan kemurnian bubuk kopi berdasarkan kualitas aroma menggunakan sensor *e-nose* dengan metode pengenalan pola Jaringan Saraf Tiruan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu mengidentifikasi kemurnian campuran pada bubuk kopi secara cepat dan akurat.
2. Dalam bidang masyarakat akademik penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan referensi, dalam mengembangkan ilmu pengetahuan bagi penelitian kopi selanjutnya.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah penggunaan dari alat pendeteksi aroma bubuk kopi dengan sensor *e-nose* dan arduino dapat mendeteksi aroma bubuk kopi dengan cepat dan akurat, sehingga dapat memaksimalkan peneliti dalam mengidentifikasi kemurnian kopi.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan ialah campuran bubuk Kopi Luwak dan Arabika.
2. Sensor yang digunakan memiliki sensitivitas terhadap H₂ dan CO (TGS 2600), amonia (MQ 136), H₂, metana, dan propana (TGS 822), dan amonia (TGS 813).
3. Penggunaan kipas angin untuk menetralkan kejenuhan aroma pada *Chamber*.
4. Data keluaran sensor berupa tegangan *Analog Digital Converter* (ADC).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi

Kopi (*Coffea*) ialah salah satu komoditas tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi diantara tanaman perkebunan lainnya dan berperan penting sebagai sumber devisa negara. Tanaman yang berbentuk pohon termasuk dalam famili *Rubiceae* dan genus *Coffea*. Tanaman ini tumbuhnya tegak, bercabang, dan bila dibiarkan tumbuh dapat mencapai tinggi 12 m. Daunnya bulat telur dengan ujung agak meruncing. Daun tumbuh berhadapan pada batang, cabang, dan ranting-rantingnya. (Najiyati dan Danarti, 2012).

Tanaman kopi membutuhkan waktu 3 tahun dari saat perkecambahan sampai menjadi tanaman berbunga dan menghasilkan buah kopi. Semua spesies kopi berbunga berwarna putih yang beraroma wangi. Bunga tersebut muncul pada ketiak daunnya. Adapun buah kopi tersusun dari kulit buah (*epicarp*), daging buah (*mesocarp*) dikenal dengan sebutan pulp, dan kulit tanduk (*endocarp*). Setiap buah kopi memiliki dua biji kopi. Biji kopi dibungkus kulit keras yang disebut kulit tanduk (*parchment skin*) (Rahardjo, 2012). Jenis kopi yang dikenal di Indonesia maupun dunia yaitu, kopi robusta, arabika, dan liberika. Umumnya jenis kopi yang dibudidayakan di Indonesia dan tersedia di pasaran dunia dan adalah kopi arabika dan robusta. Kopi arabika memiliki tipe perakaran yang lebih dalam daripada kopi robusta. Tanaman kopi dapat berakar lebih dalam pada tanah normal, tetapi 90% dari perakaran tanaman kopi berada pada lapisan tanah di atas 30 cm (Rahardjo, 2017).

Pengolahan kopi melalui beberapa proses yang diawali dari proses fermentasi, kemudian dilakukan pencucian, setelah dicuci kemudian dilakukan pengeringan, lalu dilakukan curing, dan terakhir proses penyimpanan. Komposisi kimia pada biji kopi berbeda – beda, tergantung tempat tumbuh, tipe kopi, dan pengolahan kopi. Kafein dan caffeol merupakan struktur kimia terpenting yang terdapat di dalam kopi. Kafein memiliki efek farmakologis yang bermanfaat salah satunya adalah menstimulasi susunan saraf pusat (Maramis et al., 2013). Kafein merupakan senyawa *alkaloid xantina* yang memiliki bentuk kristal dan mempunyai rasa pahit yang bekerja sebagai obat diuretik ringan dan perangsang psikoaktif. Penyusun utama kafein ialah *Purin xantin* yang mampu menurunkan demam dan mengurangi rasa sakit (Arwangga, 2016).

Kopi sebenarnya tersusun oleh lebih dari 800 senyawa volatil yang telah teridentifikasi dengan kandungan terbesarnya adalah senyawa furan, *namun pyrazin, sulfida dan pyrole* juga berperan dalam membentuk flavour note kopi (Mulato, 2012). Kandungan kopi, termasuk senyawa-senyawa volatil yang terkandung di dalamnya, dapat mempengaruhi respons sensor *e-nose*. Sensor *e-nose* merespons aroma kopi dengan mendeteksi dan mengukur senyawa-senyawa volatil yang terkandung di dalamnya. Oleh karena itu, perubahan dalam kandungan kopi dapat mempengaruhi pola respons sensor *e-nose* dan memberikan informasi tentang kemurnian atau profil aroma kopi.

Menurut Afriliana (2018) metode pengolahan kopi terbagi menjadi pengolahan kering dan pengolahan basah :

1. Metode Pengolahan Kering

Metode pengolahan kering merupakan metode yang paling sederhana. Biji kopi yang telah melalui tahap panen dikeringkan dengan dijemur, setelah kering biji kopi kemudian digiling hingga menjadi beras. Kopi yang diolah dengan metode kering memiliki cita rasa yang khas karena kulit, biji, daging maupun lender masih melekat pada biji kopi. Kekurangan dari metode ini adalah tidak terjadinya proses pensortiran

kopi berdasarkan berat jenis karena biji kopi tidak melalui proses perendaman.

2. Metode Pengolahan Basah

Metode pengolahan basah diawali dengan pengupasan kulit buah, selanjutnya kopi melalui tahap fermentasi selama 12-36 jam, yang bertujuan untuk meluruhkan lendir yang ada pada permukaan kulit tanduk biji. Pengolahan kopi secara basah rata-rata dapat menghasilkan mutu biji kopi yang lebih baik dibandingkan dengan metode kopi secara kering. Proses fermentasi ini dilakukan dengan merendam biji kopi dalam genangan air. Biji kopi yang mengapung dalam genangan air kemudian diambil karena memiliki mutu kopi yang kurang baik. Setelah fermentasi selesai, biji kopi dibilas dan dicuci menggunakan air bersih. Fermentasi biji dianggap sempurna jika biji diraba terasa kesat dan sisa lendir yang ada pada biji telah hilang.

2.2 Kopi Luwak

Di Indonesia juga memiliki jenis kopi yang spesialti, yaitu kopi luwak. Kopi luwak merupakan jenis kopi robusta atau arabika yang telah dimakan oleh hewan luwak, dan biji kopi yang dihasilkan akan keluar sebagai feses hewan luwak. Menurut Ikhwan (2013), bahwa kopi luwak merupakan kopi yang diproduksi dari biji kopi yang telah dimakan dan melewati saluran pencernaan binatang luwak. Kopi Luwak adalah seduhan kopi menggunakan biji kopi yang diambil dari sisa kotoran luwak/musang kelapa. Biji kopi ini diyakini memiliki rasa yang berbeda setelah dimakan dan melewati saluran pencernaan luwak. Hewan luwak senang mencari buah-buahan yang cukup baik termasuk buah kopi sebagai makanannya. Biji kopi yang dilindungi kulit keras dan tidak tercerna akan keluar bersama kotoran luwak. Luwak hanya memakan buah dari biji kopi yang beraroma wangi seperti buah leci, kemudian di perut luwak terjadi fermentasi oleh enzim-enzim yang ada pada perut luwak selama kurang lebih 12 jam.

Gas yang terkandung dalam kopi Luwak sebagian besar tidak berbeda secara signifikan dengan gas yang ditemukan dalam kopi biasa. Proses fermentasi yang terjadi dalam sistem pencernaan musang selama konsumsi buah kopi dapat mempengaruhi beberapa komponen kimia dalam biji kopi, termasuk gas yang dihasilkan. Namun, ini tidak menciptakan gas-gas yang berbeda secara substansial dari kopi biasa.

Gas-gas yang mungkin terkandung dalam biji kopi, termasuk kopi Luwak, dapat melibatkan *nitrogen*, *karbon dioksida*, dan gas-gas lain yang umumnya ditemukan dalam proses fermentasi dan penguraian bahan organik. Rasa kopi Luwak lebih dipengaruhi oleh proses fermentasi dan perubahan kimia yang terjadi selama pencernaan. Keistimewaan biji kopi luwak dibandingkan dengan kopi yang lain adalah sebagai berikut:

1. Kopi luwak berasal dari biji kopi terbaik. Naluri hewan luwak akan memilih biji kopi paling matang yang biasanya berwarna merah. Bisa dipastikan, 90% biji kopi yang dihasilkan oleh hewan luwak adalah yang benar-benar matang, bukan yang mentah. Ini memberi keuntungan, karena pada kopi bias kemungkinan ada pencampuran antara biji kopi yang mentah dan matang, yang tentunya bias mengurangi kualitas kopi.
2. Kopi luwak sudah mengalami proses fermentasi secara alami di dalam pencernaan hewan luwak. Proses fermentasi alami dalam perut luwak memberikan perubahan komposisi kimia pada biji kopi dan dapat meningkatkan kualitas rasa kopi, selain berada pada suhu fermentasi optimal dan dibantu dengan enzim dan bakteri yang ada pada pencernaan luwak. Kopi luwak mengandung kafein yang sangat rendah.
3. Kopi luwak bebas dari pestisida, karena pestisida yang terdapat pada kopi telah dibersihkan secara alami di dalam perut luwak, sehingga kopi yang keluar bersamaan dengan feses luwak telah bebas dari kandungan pestisida yang berbahaya.

Dalam budidaya kopi luwak melibatkan hewan Luwak, Luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*) adalah hewan menyusui (mamalia) yang termasuk suku

musang dan garangan. Luwak juga dikenal dengan berbagai sebutan lain seperti musang (nama umum, Betawi), careuh (Sunda), luak atau luwak (Jawa), serta common palm civet, common musang, house musang atau *toddy cat* dalam bahasa Inggris.

2.3 E-Nose (Electronic Nose)

Teknologi *electronic nose* (*e-nose*) merupakan teknologi yang dimana prinsip kerjanya sama dengan prinsip kerja hidung pada manusia. *Electronic nose* terdiri dari larik sensor (array sensor) gas sebagai pengganti reseptor penciuman yang berfungsi untuk mendeteksi bau atau aroma. Aroma yang dideteksi oleh beberapa sensor gas ini kemudian akan membentuk suatu pola tertentu. Pola ini kemudian akan dikenali menggunakan sistem pengenalan pola. Saat ini, *e-nose* digunakan untuk aplikasi kontrol kualitas dalam industri makanan, minuman, kosmetik, bioteknologi, pengobatan, dan perlindungan lingkungan. *e-nose* terdiri dari serangkaian sensor gas dimana masing-masing sensor tersebut akan memberikan reaksi atas perubahan aroma. Aroma yang terdeteksi akan memberikan reaksi yang berupa perubahan tahanan disetiap sensor. Dengan adanya perubahan tersebut akan mengakibatkan perubahan voltase. Data yang dihasilkan dari perubahan voltase tersebut akan berupa data digital. Selanjutnya, data yang dihasilkan akan diolah menggunakan metode *neural network* (Rahayoe, dkk., 2017).

2.4 Sensor Gas

Sensor gas merupakan jenis sensor yang bertujuan untuk mengukur kandungan senyawa gas polutan tertentu yang berada pada udara bebas, seperti *karbon-dioksida* (CO₂), *karbon-monosikda* (CO), *hidrokarbon* (LPG, LNG) . Karena sensitivitasnya yang tinggi dan waktu respon yang cepat, pengukuran dapat dilakukan dengan cepat. Sensitivitas sensor dapat disesuaikan dengan potensiometer. Sudah semakin banyak dipasaran telah beredar sensor pengindra gas semikonduktor dalam bentuk modul yang terpackage dengan PCB Semakin beragam, tipe – tipe sensor gas yang ada dipasaran, yang dimana tentunya ini

dibedakan oleh jenis objektivitas gas yang akan disensing di udara bebas (Hendri,2012).

2.4.1 Sensor TGS 2600

Sensor TGS 2600 adalah salah satu jenis sensor gas yang dikembangkan oleh Figaro Engineering Inc. ensor TGS 2600 sebagai pendeteksi udara. Elemen penginderaan terdiri dari lapisan semikonduktor oksida logam dibentuk pada substrat alumina dari chip penginderaan bersama-sama dengan yang terintegrasi pemanas. Jika terdapat gas yang terdeteksi, konduktivitas sensor meningkat tergantung pada konsentrasi gas di udara. Rangkaian listrik sederhana bias mengubah perubahan konduktivitas menjadi sinyal keluaran yang sesuai konsentrasi gasnya.

TGS 2600 memiliki sensitivitas tinggi terhadap konsentrasi gas udara yang rendah

kontaminan seperti hidrogen dan karbon monoksida yang ada dalam rokok merokok. Sensor tersebut dapat mendeteksi hidrogen pada tingkat beberapa ppm.

Karena miniaturisasi chip penginderaan, TGS 2600 memerlukan arus pemanas hanya 42mA dan perangkat ditempatkan dalam paket TO-5 standar.



Gambar 1. Sensor TGS 2600

2.4.2 Sensor MQ-136

Sensor MQ-136 adalah salah satu jenis sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas amonia (NH_3) dalam udara. Sensor ini termasuk

dalam keluarga sensor gas MQ (dikembangkan oleh *Winsen Electronics*) yang menggunakan prinsip perubahan resistansi konduktor semikonduktor dalam respons terhadap adanya gas tertentu. Sensor MQ-136 menggunakan lapisan semikonduktor yang sensitif terhadap gas amonia. Ketika gas amonia berinteraksi dengan lapisan semikonduktor, resistansi sensor akan berubah, dan perubahan ini diukur dan dianalisis untuk mendeteksi konsentrasi gas amonia. Sensor ini membutuhkan tegangan *input* sebesar 5V. Pada sensor ini terdapat nilai resistansi sensor (R_s) yang dapat berubah bila terkena gas dan juga sebuah pemanas yang digunakan sebagai pembersihan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar.

Sensor ini memerlukan rangkaian sederhana serta memerlukan tegangan pemanas (*power heater*) sebesar 5V, resistansi beban (*load resistance*). *Output* sensor berupa data *analog* (Terska, 2013). Sensor MQ-136 memiliki waktu respons yang relatif cepat terhadap perubahan konsentrasi gas amonia dalam udara sekitarnya. Namun, sensor ini juga dapat menunjukkan respons silang terhadap gas-gas lain yang memiliki karakteristik kimia atau struktural yang mirip dengan amonia. Oleh karena itu, pemilihan sensor yang sesuai dan kalibrasi yang benar diperlukan untuk menghindari kesalahan pengukuran atau interpretasi data. Bentuk Fisik sensor TGS826 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor MQ-136

2.4.3 Sensor TGS 822

Sensor TGS 822 adalah jenis sensor gas yang diproduksi oleh *Figaro Engineering Inc.* Seperti halnya sensor gas pada umumnya, TGS 822 dirancang untuk mendeteksi konsentrasi gas tertentu di udara. TGS 822 dirancang untuk

mendeteksi berbagai gas, termasuk *hidrogen* (H_2), *metana* (CH_4), dan *propana* (C_3H_8). Ini membuatnya berguna untuk aplikasi yang melibatkan pemantauan kebocoran gas atau pengukuran konsentrasi gas tertentu. Sensor ini menggunakan prinsip resistansi variabel berdasarkan adsorpsi gas pada permukaan material yang sensitif terhadap target gas. Perubahan resistansi ini kemudian diukur dan diinterpretasikan sebagai indikator konsentrasi gas.

Sensor ini menghasilkan sinyal keluaran analog yang berkorelasi dengan konsentrasi gas yang dideteksi. Pemrosesan lebih lanjut mungkin diperlukan untuk mengonversi sinyal ini menjadi nilai konsentrasi gas yang akurat. Sebagian besar sensor gas memerlukan kalibrasi untuk memastikan akurasi pembacaan. Ini melibatkan pemaparan sensor pada konsentrasi gas yang diketahui untuk mengatur respons sensor.



Gambar 3. Sensor TGS 822

2.4.4 Sensor TGS 813

Sensor TGS 813 adalah jenis sensor gas yang dikembangkan oleh *Figaro Engineering Inc.* Sensor ini dirancang untuk mendeteksi konsentrasi *gas amonia* (NH_3) dalam udara. Sensor TGS 813 termasuk dalam keluarga sensor gas TGS (Taguchi Gas Sensor) yang menggunakan prinsip perubahan resistansi semikonduktor dalam respons terhadap adanya gas tertentu. Sensor TGS 813 menggunakan lapisan semikonduktor yang sensitif terhadap gas amonia. Ketika gas NH_3 berinteraksi dengan lapisan semikonduktor, resistansi sensor akan berubah, dan perubahan ini diukur dan dianalisis untuk mendeteksi konsentrasi gas amonia.

Sensor TGS 813 adalah semikonduktor *timah dioksida* (SnO_2) yang memiliki konduktivitas rendah di udara bersih. Di hadapan gas yang dapat dideteksi, konduktivitas sensor meningkat tergantung pada konsentrasi gas di udara. Sebuah rangkaian listrik sederhana dapat mengubah perubahan konduktivitas menjadi sinyal keluaran yang sesuai dengan konsentrasi gas. Sensor TGS 813 memiliki sensitivitas tinggi terhadap *metana, propana, dan butana*, menjadikannya ideal pemantauan gas alam dan LPG. TGS 813 membutuhkan arus pemanas hanya 5 volt dikarenakan ukuran chip yang kecil dan perangkat ditempatkan dalam paket TO-5. Bentuk Fisik sensor TGS826 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sensor TGS 813

2.5 Sistem Kendali

Sistem kontrol (*Control system*) adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Istilah-istilah dari sistem kendali atau sistem kontrol adalah :

- a. *Plants*, dapat berupa suatu peralatan atau suatu kelengkapan dari perangkat mesin yang bekerja bersama untuk mengerjakan suatu tujuan tertentu.
- b. *Processes*, sebagai suatu kelanjutan operasi atau pengembangan yang ditandai dengan serangkaian perubahan bertahap yang menggantikan satu sama lain dengan cara yang relatif tetap dan mengarahkan pada suatu tujuan.
- c. *Systems*, kombinasi dari komponen yang bertindak bersama dan melakukan suatu tujuan.

- d. *Disturbances*, suatu sinyal yang cenderung mempengaruhi nilai keluaran dari suatu sistem. Disturbance yang dihasilkan oleh sistem dinamakan internal disturbance sedangkan disturbance yang muncul dari luar sistem disebut external disturbance.
- e. *Feedback Control*, suatu operasi yang memiliki gangguan dan cenderung mengurangi perbedaan diantara keluaran dan referensi sistem.

Dalam melakukan sebuah penelitian sistem kendali atau sistem kontrol terdapat tiga jenis variabel kendali atau kontrol yaitu variabel manipulasi, variabel respon, dan variabel kontrol. Dimana anatara satu variabel dengan variabel lain akan saling berhubungan, tetapi belum tentu saling mempengaruhi.

2.6 Mikrokontroler

Arduino adalah sebuah board *mikrokontroler* yang berbasis Atmega 328. Arduino terdiri dari 14 pin *input/output*. Arduino mampu men-support *mikrokontroler*, dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. *Mikrokontroler* adalah suatu chip berupa IC (*Integrated Circuit*) yang dapat menerima sinyal *input*, mengolahnya dan memberikan sinyal *output* sesuai dengan program yang diisikan ke dalamnya. Sinyal *input mikrokontroler* berasal dari sensor yang merupakan informasi dari lingkungan sedangkan sinyal *output* ditujukan kepada aktuator yang dapat memberikan efek ke lingkungan. Jadi secara sederhana *mikrokontroler* dapat diibaratkan sebagai otak dari suatu perangkat/produk yang mampu berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya.

2.7 Jaringan Saraf Tiruan (JST)

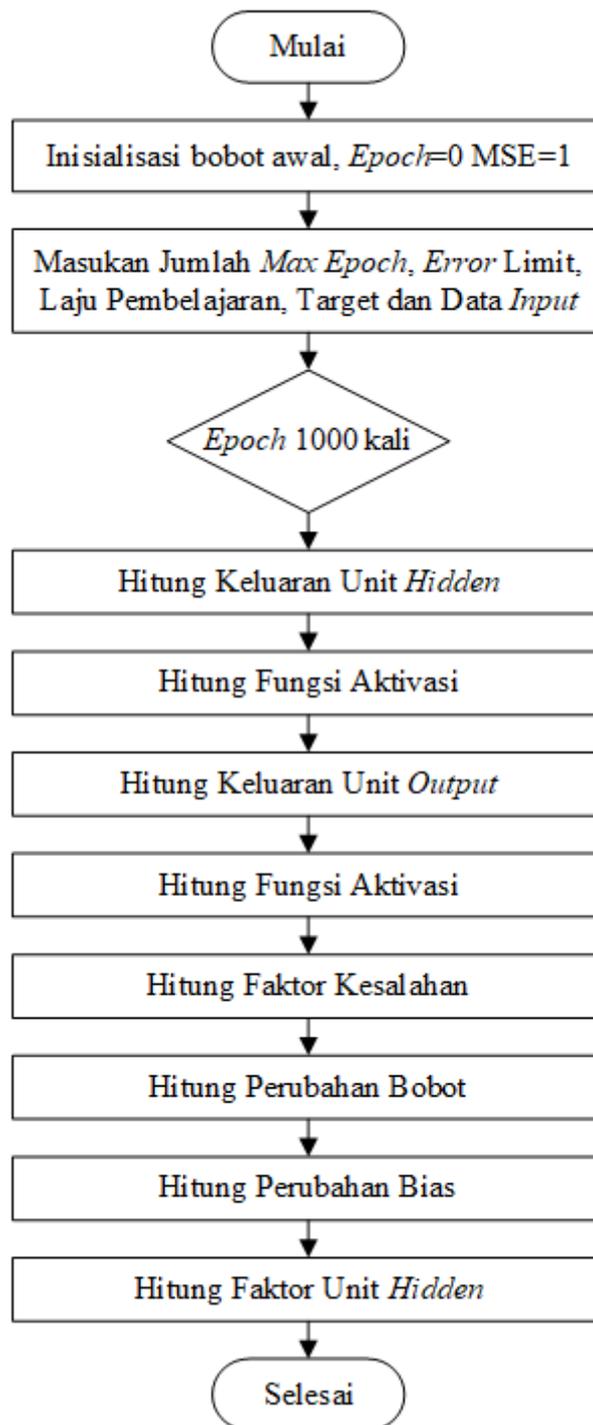
Jaringan saraf tiruan adalah sistem komputasi yang arsitekturnya dan operasinya mirip dengan pengetahuan tentang sel saraf biologis di dalam otak manusia. JST merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk menstimulasi proses pembelajaran yang diterima. Sama layaknya saraf manusia, JST terdiri dari beberapa neuron dan terdapat hubungan

antara *neuron* satu dengan *neuron* lainnya. *Neuron* adalah sebuah unit pemroses informasi yang merupakan dasar operasi jaringan saraf tiruan.

Menurut Hermawan (2006), jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*), atau disingkat JST, adalah sistem komputasi dimana arsitektur dan operasi diilhami dari pengetahuan tentang sel saraf biologi di dalam otak, yang merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mentimulasi proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Lapisan-lapisan penyusun JST dibagi menjadi 3, yaitu lapisan *input* (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan *output* (*koefisien layer*) (Sutojo, 2010).

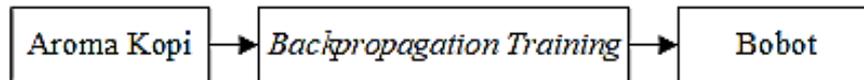
Backpropagation merupakan pelatihan jenis terkontrol dimana pola penyesuaian bobot untuk mencapai nilai kesalahan yang minimum antara keluaran hasil prediksi dengan keluaran yang nyata (Suhandi, 2009). Menurut Dillak, dkk (2012), *Backpropagation* adalah bentuk jaringan saraf tiruan yang terdiri atas beberapa *layer*. JST *backpropagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respons yang besar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan.

Perancangan JST terdiri dari dua proses yang dilakukan yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. *Backpropagation* terdiri dari beberapa proses, dapat dilihat dalam diagram alir dari *backpropagation* yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir *Backpropagation*

Setelah struktur *JST backpropagation* dirancang, langkah selanjutnya ialah perancangan proses pembelajaran, proses pembelajaran *JST backpropagation* tersebut dimulai dari proses training seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses Training *Backpropagation*

Setelah proses di atas maka akan diperoleh nilai bobot input, *hidden* dan *output*. Proses training memakan waktu cukup lama, dikarenakan perancangan sistem harus mencapai target yang telah ditentukan. Untuk menghentikan program dapat menggunakan dua kondisi:

1. Penggunaan *Epoch*
2. Pengaturan nilai MSE (*Mean Square Error*)

Tahap selanjutnya ialah proses identifikasi. Penelitian ini dilakukan *Blending* bubuk kopi Luwak dan bubuk kopi Arabika.

Persamaan Model Matematika dari JST yang dihasilkan oleh arsitektur paling dasar merupakan suatu lapisan yang terdiri atas satu unit *output* dan beberapa unit input. Pada unit input ditambahkan variabel bobot dan bias. Jika diakhir nilai bobot dan bias $e-01$ berarti 10^{-1} atau dikali 0,1, jika diakhir nilai ada $e+00$ artinya 100 atau nilainya dikali 1 (tetap), dan bila dibelakang nilai ada $e+01$ artinya 10^1 atau nilai dikali 10.

Pada persamaan matematika memiliki persamaan fungsi aktivasi 27 kali yang terdiri dari:

1. Persamaan fungsi aktivasi logsig adalah : $y = 1/(1+\exp(-x))$
2. Persamaan fungsi aktivasi tansig adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$
3. Persamaan fungsi aktivasi purelin adalah : $y = x$

2.8 Kebaruan Penelitian

Penelitian yang pernah dilakukan dan berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 1. Tabel Penelitian

| Nama | Tahun | Topik Penelitian | Metode dan Hasil |
|-----------------|-------|---|---|
| Pangestu | 2019 | Identifikasi buah pisang berdasarkan karakteristik morfologi buah dengan metode jaringan syaraf tiruan. | Model jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk identifikasi morfologi buah pisang Muli, Ambon dan Kepok. Akurasi hasil prediksi jaringan syaraf tiruan adalah 100%. |
| Suteja, B. R. | 2007 | Penerapan Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik Studi Kasus Pengenalan Jenis Kopi | Metode yang digunakan pada jurnal ini yaitu metode <i>Backpropagation</i> untuk mengenali jenis kopi. |
| Sitohang, M.,E. | 2012 | Analisis Sinyal <i>Electronic Nose</i> Berbasis <i>Wavelet</i> Menggunakan <i>Support Vector Machine</i> untuk Identifikasi Jenis Teh Hitam | Metode yang digunakan dalam jurnal ini yaitu menggunakan sensor <i>E-Nose</i> untuk mendapatkan hasil data dan kemudian diidentifikasi menggunakan PCA dan SVT |
| Moh. Yasi r | 2016 | Monitoring perkembangan bau tahu berformalin dan tanpa formalin berbasis e-nose menggunakan metode principal component analysis (pca). | Sensor gas MQ5, MQ6, dan MQ138 bisa merespon perkembangan aroma tahu berformalin dan tanpa formalin karena memiliki sensitivitas terhadap senyawa volatil yang ada pada kedua sampel. |
| Guntoro, H. | 2013 | Rancang Bangun <i>Magnetic Door Lock</i> Menggunakan <i>Keypad</i> dan <i>Solenoid</i> Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno | Hasil yang didapat dalam jurnal ini yaitu <i>magnetic door lock</i> dapat bekerja dengan baik, dibuktikan dengan <i>software IDE Arduino</i> bahwa mikrokontroler dapat mendeteksi <i>input keypad</i> dengan baik, delay yang diterapkan untuk mengaktifkan solenoid dapat berjalan dengan baik, dan fitur untuk mengubah dan menyimpan kode password baru dapat berjalan dengan baik. |
| Lelono, D. | 2013 | Karakteristik Pola Aroma Salak Pondoh dengan <i>E-nose</i> | Hasil yang didapat dalam jurnal ini yaitu penggunaan E-nose dengan 8 sensor yang berbeda |

| | | | |
|-----------------|------|--|--|
| | | Berbasis Sensor Metal Oksida | dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik salak pondoh dari pertama petik hingga keadaan membusuk. |
| Oktadina, F.D. | 2013 | Pemanfaatan Nanas (<i>Ananas Comosus L. Merr</i>) untuk Penurunan Kadar Kafein dan Perbaikan Citarasa Kopi (<i>Coffea Sp</i>) dalam Pembuatan Kopi Bubuk | Penelitian ini menggunakan 2 faktor. Faktor pertama yaitu konsentrasi nanas dan faktor kedua lama fermentasi. Hasil penelitian ini yaitu lama fermentasi kopi terbaik yaitu 36 jam dengan konsentrasi nanas 40%. |
| Sri Rahayu | 2017 | Aplikasi jaringan syaraf tiruan untuk identifikasi aroma teh menggunakan enose | Jaringan syaraf tiruan dapat mengenali aroma teh yang belum pernah dilatihkan (data asing) dan aroma teh yang pernah dilatihkan dengan baik. |
| Fitryadi, K. | 2016 | Pengenalan Jenis Golongan Darah Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan <i>Perceptron</i> | Metode yang digunakan dalam jurnal ini yaitu pengenalan golongan darah pada citra digital menggunakan metode jaringan syaraf tiruan <i>perceptron</i> . |
| Rabersyah, D. | 2016 | Identifikasi Jenis Bubuk Kopi Menggunakan Electronic Nose Dengan Metode Pembelajaran <i>Backpropagation</i> | Metode yang digunakan dalam jurnal ini yaitu diperoleh data dari perubahan resistansi masing – masing sensor. Data tersebut akan diolah menggunakan jaringan saraf tiruan (JST) <i>backpropagation</i> . |
| Arwangga, A. A. | 2016 | Analisis Kandungan Kafein pada Kopi di Desa Sesaot Narmada menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis | Metode yang digunakan dalam jurnal ini yaitu menggunakan spektrofotometri Uv – Vis untuk mengetahui kandungan kafein dan dengan menggunakan metode oven untuk mengetahui kadar airnya. |

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai September 2023 di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pasca Panen Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Sensor TGS 2600, sebagai pendeteksi gas *hydrogen* (H_2) dan *karbon monoksida* (CO) pada campuran bubuk kopi.
2. Sensor TGS813, sebagai pendeteksi gas *metana* (CH_4), *butane* (C_4H_{10}), dan *propana* (C_3H_8) pada campuran bubuk kopi.
3. Sensor MQ136, sebagai pendeteksi gas *amonia* (NH_3) pada campuran bubuk kopi.
4. Sensor TGS 822, sebagai pendeteksi gas *ammonia* (NH_3), *alcohol* (C_2H_6O), dan *benzene* (C_6H_6) pada campuran bubuk kopi.
5. *Chamber* berukuran 15x15x20 cm, digunakan untuk meletakkan sampel campuran bubuk kopi .
6. *Mikrokontroler* Atmega 2560, digunakan untuk mengendalikan dan mengontrol sensor yang digunakan.
7. Kipas Angin, digunakan untuk menetralkan kejenuhan aroma bubuk kopi di dalam *chamber*.
8. Kamera, digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan.
9. Alat tulis, digunakan untuk mencatat hasil penelitian.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bubuk kopi Luwak dan Arabika yang diperoleh dari petani kopi di Lampung Barat .

3.3 Parameter Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan 2 input perlakuan menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan yaitu waktu dan nilai tegangan sensor (ADC) yang dihasilkan dari deteksi aroma campuran bubuk kopi sebanyak 3 kali ulangan. Penelitian ini dilakukan dengan mencampur bubuk kopi luwak dan bubuk kopi arabika. Bubuk kopi luwak 100% murni, bubuk kopi arabika 100% murni, kemudian mencampurkan bubuk kopi luwak 50% dengan bubuk kopi arabika 50%, bubuk kopi luwak 75% dengan bubuk kopi arabika 25%, serta bubuk kopi luwak 25% dengan bubuk kopi arabika 75%. Bubuk kopi yang telah dicampur kemudian diletakkan ke dalam *chamber* dengan dimensi panjang 15 cm, lebar 15 cm, tinggi 22 cm. Jarak antara bubuk kopi dengan sensor *e-nose* sejauh 12,5 cm sehingga sensor *e-nose* dapat mendeteksi nilai tegangan sensor (ADC) dari aroma bubuk kopi tersebut.

Setelah kopi tercampur kemudian ditimbang 50gram, setelah itu kopi diletakkan ke dalam tabung untuk didapatkan nilai tegangan sensor (ADC) pada monitor LCD. Nilai ADC diperoleh apabila sensor mendeteksi aroma kopi di dalam tabung sampel. Setelah nilai ADC terkumpul kemudian dilanjutkan dengan metode JST. Sehingga diperoleh nilai serta aktivasi terbaik dalam sampel kopi ini. Tahap terakhir yaitu mencari model matematika yang diperoleh dari nilai aktivasi terbaik JST.

Tabel 2. Unit Percobaan

| ADC 1 | ADC 2 | ADC 3 | ADC 4 | Kemurnian Bubuk Kopi Luwak/Arabika |
|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|
| L1A1 | L1A1 | L1A1 | L1A1 | 100/0 |
| L1A1 | L1A1 | L1A1 | L1A1 | 100/0 |
| L1A1 | L1A1 | L1A1 | L1A1 | 100/0 |
| L2A2 | L2A2 | L2A2 | L2A2 | 75/25 |
| L2A2 | L2A2 | L2A2 | L2A2 | 75/25 |
| L2A2 | L2A2 | L2A2 | L2A2 | 75/25 |
| L3A3 | L3A3 | L3A3 | L3A3 | 50/50 |
| L3A3 | L3A3 | L3A3 | L3A3 | 50/50 |
| L3A3 | L3A3 | L3A3 | L3A3 | 50/50 |
| L4A4 | L4A4 | L4A4 | L4A4 | 25/75 |
| L4A4 | L4A4 | L4A4 | L4A4 | 25/75 |
| L4A4 | L4A4 | L4A4 | L4A4 | 25/75 |
| L5A5 | L5A5 | L5A5 | L5A5 | 0/100 |
| L5A5 | L5A5 | L5A5 | L5A5 | 0/100 |
| L5A5 | L5A5 | L5A5 | L5A5 | 0/100 |

Keterangan :

L1A1 = Kemurnian bubuk kopi luwak 100%

L2A2 = Kemurnian bubuk kopi luwak 75%

L3A3 = Kemurnian bubuk kopi luwak 50%

L4A4 = Kemurnian bubuk kopi luwak 25%

L5A5 = Kemurnian bubuk kopi luwak 0%.

3.4 Kriteria Desain

Alat ini dirancang untuk mengukur nilai kemurnian blending kopi luwak dan kopi arabika menggunakan sensor *e-nose*. Jaringan Saraf Tiruan digunakan untuk memperoleh model matematika yang akan diintegrasikan ke dalam *mikrokontroler*. Kemudian mencari persentase kemurnian kopi menggunakan model matematika yang dihasilkan oleh JST dan menginput nilai yang sudah

didapatkan. Dalam proses ini terdapat nilai tegangan (ADC) yang berfungsi untuk mengubah analog sinyal menjadi *digital*. Tahap selanjutnya hasil yang diperoleh dari *mikrokontroler* diuji ulang untuk melakukan proses validasi. Sehingga diperoleh nilai kemurnian kopi dengan akuransi 90% dalam waktu hanya 25 menit. Gambar Rancangan alat pendeteksi kemurnian kopi dapat dilihat pada gambar 7.



(a) Tampak Depan

(b) Gambar 3D



(c) Tampak Samping

Gambar 7. Desain Alat Pendeteksi Kemurnian Bubuk Kopi ; (a) Tampak Depan ; (b) Gambar 3D; (c) Tampak Samping

Keterangan :

1. Arduino
2. Sensor MQ- 136
3. Sensor TGS 822
4. Sensor TGS 2600
5. Sensor TGS 813
6. Sampel bubuk kopi

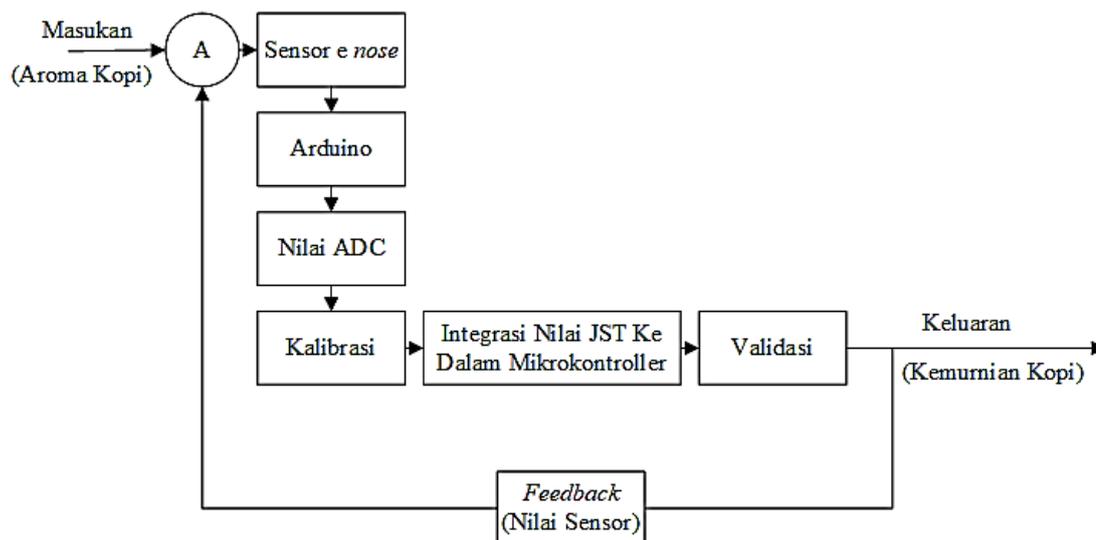
3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan mencari sumber tentang kemurnian kopi dengan menggunakan sensor *e-nose*. Rancangan pengambilan data dengan *e-nose* merupakan langkah yang digunakan guna mendapatkan data yang diperlukan. Proses pengambilan data dengan melakukan campuran antara bubuk kopi Luwak dan kopi Arabika. Data yang dihasilkan akan diolah menggunakan JST. JST tersebut dirancang dengan mengganti fungsi aktivasi dan nilai node sehingga mendapatkan nilai berupa R^2 terbesar dan RMSE terkecil. Setelah memperoleh nilai R^2 dan RMSE akan diperoleh nilai bobot dan bias. Untuk memastikan data sesuai dengan kriteria desain yang distandarkan, kemudian dilakukan kalibrasi dan validasi dilakukan. Prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

Blok diagram harus dirancang terlebih dahulu sebelum merancang sistem. Berikut adalah gambar blok diagram sistem dari aplikasi JST untuk mendeteksi aroma campuran kopi. Berikut adalah gambar blok diagram dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Blok Diagram

Fungsi dari masing-masing blok pada diagram di atas ialah sebagai berikut:

1. Sensor yang digunakan ialah 4 buah Sensor Gas yaitu MQ136, TGS 822, TGS 2600, dan TGS 813 yang berfungsi sebagai pendeteksi aroma pada campuran bubuk kopi didalam wadah pengujian.
2. *Mikrokontroler* berfungsi untuk mengendalikan dan memproses data dari perangkat *input* lalu meneruskannya ke alat *output*.
3. Data Identifikasi (.txt) adalah data sensor yang digunakan sebagai *input* dalam proses identifikasi yang ada pada Matlab.
4. Matlab adalah *software* untuk mengidentifikasi aroma pada kopi.
5. Hasil identifikasi merupakan nilai kemurnian pada kopi dari hasil pengujian yang telah dilakukan menggunakan JST pada *software* Matlab.

Penelitian ini diawali dengan mencampurkan bubuk kopi luwak dan bubuk kopi arabika pada Sensor *e-nose*. Kemudian di ukur nilai tegangan (ADC) yang dihasilkan dari masing-masing kopi. Setelah itu *input* nilai tegangan (ADC) ke

dalam *Excel*. Proses ini juga menentukan variabel dependen dan independen. Setelah didapatkan nilai variabel dependen dan independennya lalu membuat model menggunakan JST. Setelah itu dilakukan uji model R^2 hingga diperoleh hasil identifikasinya. Kemudian *input* model matematika yang didapatkan kedalam arduino lalu arduino akan mengukur nilai ADC dengan 27 model JST yang terpasang. Langkah terakhir dari penelitian ini yaitu melakukan validasi secara aktual.

3.6 Nilai ADC (*Analog Digital Converter*)

ADC dapat merubah nilai suatu masukan yang berupa tegangan listrik dalam voltase atau sinyal *analog* menjadi keluaran berupa nilai *digital* (angka). Sinyal *analog* merupakan sinyal data yang berbentuk gelombang kontinu yang mempunyai *parameter frekuensi* dan *amplitude*. ADC berfungsi untuk mengubah sinyal dari *analog* menjadi digital yang proporsional. Inputan dari ADC ini ada 2 yaitu *input* positif (+) dan *input* negatif (-).

ADC kebanyakan digunakan sebagai pengatur pada proses industri, rangkaian pengukuran, komunikasi digital, dan pengujian. ADC biasanya digunakan untuk perantara sensor analog dengan sistem komputer contohnya seperti sensor suhu, sensor tekanan, sensor cahaya, sensor berat, atau lainnya, yang kemudian diukur menggunakan sistem digital (Ikhsan, 2018).

Tegangan 5 Volt diartikan menjadi nilai digital oleh ADC pada *mikrokontroler* sebesar 1024.

Tabel 3. Skala Perhitungan Nilai oleh ADC

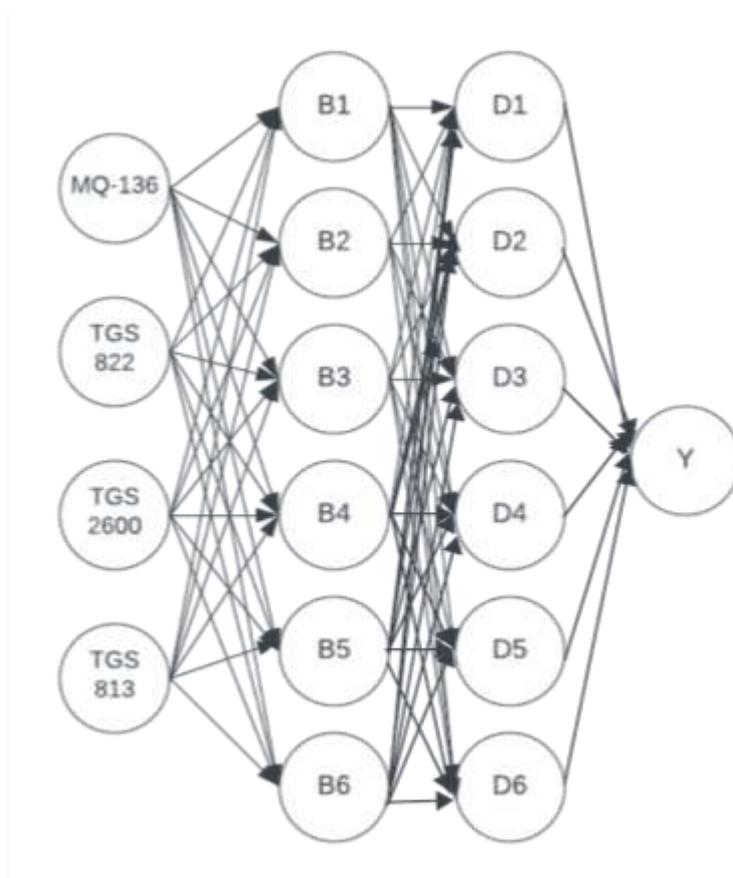
| Tegangan | Nilai ADC |
|----------|-----------|
| 1 Volt | 204,8 |
| 2 Volt | 409,6 |
| 3 Volt | 614,4 |
| 4 Volt | 819,2 |
| 5 Volt | 1024 |

3.7 Perancangan *Software*

Perancangan *software* pada penelitian ini menggunakan Matlab, dimana *software* ini dapat menjelaskan tentang pemrograman desain dan sistem aplikasi untuk melakukan perintah supaya *output* pada sistem dapat bekerja berdasarkan program yang dirancang.

3.7.1 Perancangan Jaringan Saraf Tiruan

Poses pertama dalam pengembangan JST adalah insialisasi jaringan. Proses insialisasi ini dilakukan untuk mempermudah proses kalibrasi dan pelatihan. Pada proses insialisasi ini dilakukan dengan menggunakan komputer yang telah terinstal pada aplikasi MATLAB, pada proses ini perlu ditentukan beberapa hal yang dapat mempengaruhi proses pengolahan data yang ada pada JST. Arsitektur JST ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Arsitektur Jaringan

3.7.2 Pembentukan Persamaan Matematika dari Model JST yang Dihasilkan

Pembentukan persamaan model matematika dilakukan dengan menghitung ulang bobot dan bias yang telah didapatkan dari fungsi aktivasi terbaik dengan ketentuan perhitungan sebagai berikut :

1. Pembentukan persamaan matematis dari file bobot-bias yang terekam .
2. Jika dibelakang nilai ada e-01 berarti 10^{-1} atau nilai dikali 0,1.
3. Jika dibelakang nilai ada e+00 berarti 10^0 atau nilainya dikali 1 (tetap).
4. Jika dibelakang nilai ada e+01 berarti 10^1 atau nilai dikali 10.
5. Persamaan fungsi aktivasi *logsig* adalah : $y = 1/(1+\exp(-x))$.
6. Persamaan fungsi aktivasi *tansig* adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$.
7. Persamaan fungsi aktivasi *purelin* adalah : $y = x$.

3.7.3 Integrasi Model Persamaan Matematika Ke dalam Mikrokontroler

Model persamaan matematika yang telah dihitung akan dimasukkan kedalam arduino untuk melakukan validasi kepada tiap jenis kopi. Didalam program arduino dibuat klasifikasi setiap jenis kopi berdasarkan nilai JST yang didapatkan sehingga dapat mempermudah pengelompokan setiap jenis kopi .

3.8 Analisis Data

3.8.1 Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) menunjukkan sejauh mana kontribusi variabel bebas dalam model regresi mampu menjelaskan variasi dari variabel terikatnya. Uji *koefisien determinasi* (R^2) dilakukan untuk menentukan dan memprediksi seberapa besar atau penting kontribusi pengaruh yang diberikan oleh variabel independen secara bersama – sama terhadap variabel dependen. Nilai *koefisien determinasi* yaitu antara 0 dan 1. Jika nilai mendekati 1, artinya variabel independen memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel dependen. Namun, jika nilai R^2 semakin kecil, artinya kemampuan variabel – variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen cukup terbatas (Ghozali, 2016). Nilai R^2 diperoleh dengan cara

membuat grafik scatter dari nilai observasi dan nilai prediksi pada *Ms.Excel*. Grafik yang dibuat ditambahkan *treadline* kemudian dipilih tipe regresi linier dan menampilkan nilai R^2 (Pangestu, 2019).

3.8.2 RMSE dan RRMSE

Root Mean Square Error (RMSE) dan *Relative Root Mean Square Error* (RRMSE) adalah metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi. *Root Mean Square Error* adalah hasil dari akar kuadrat kesalahan. *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Sedangkan nilai deviasi standar didefinisikan sebagai:

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Persamaan dari kedua rumus di atas menghasilkan nilai yang dapat dikatakan sama. Sehingga RMSE disebut sebagai deviasi standar ataupun sebaliknya. Indikator RMSE dengan standar deviasi jika diletakan pada studi yang berbeda tidak dapat membandingkan model yang sama, karena nilainya bergantung pada ukuran besarnya nilai Matriks, T dan lainnya. Persentase dari RMSE dapat mengatasi ini, dan didefinisikan sebagai:

$$\% RMSE = \frac{RMSE}{T_I} \times 100 \%$$

Sedangkan RRMSE (*Relative Root Mean Square Error*) adalah ukuran statistik yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi model prediksi dengan membandingkan perbedaan rata-rata antara nilai yang diprediksi dan nilai sebenarnya, kemudian menormalisasikannya terhadap skala data. RRMSE

dihitung dengan membagi Root Mean Square Error (RMSE) dengan nilai rata-rata dari data sebenarnya, sehingga memungkinkan perbandingan performa model pada skala yang berbeda. Semakin rendah nilai RRMSE, semakin akurat model tersebut dalam merepresentasikan data yang sebenarnya, sementara nilai yang lebih tinggi menunjukkan akurasi yang kurang baik. Nilai RRMSE dapat dihitung dengan rumus :

$$RRMSE = \frac{[n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2]^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{n} \sum y} \times 100\%$$

Keterangan:

e_i = kesalahan prediksi untuk observasi ke- i .

y = nilai aktual untuk observasi ke- i .

n = jumlah total observasi.

3.8.3 *Analysis of Variance* (ANOVA)

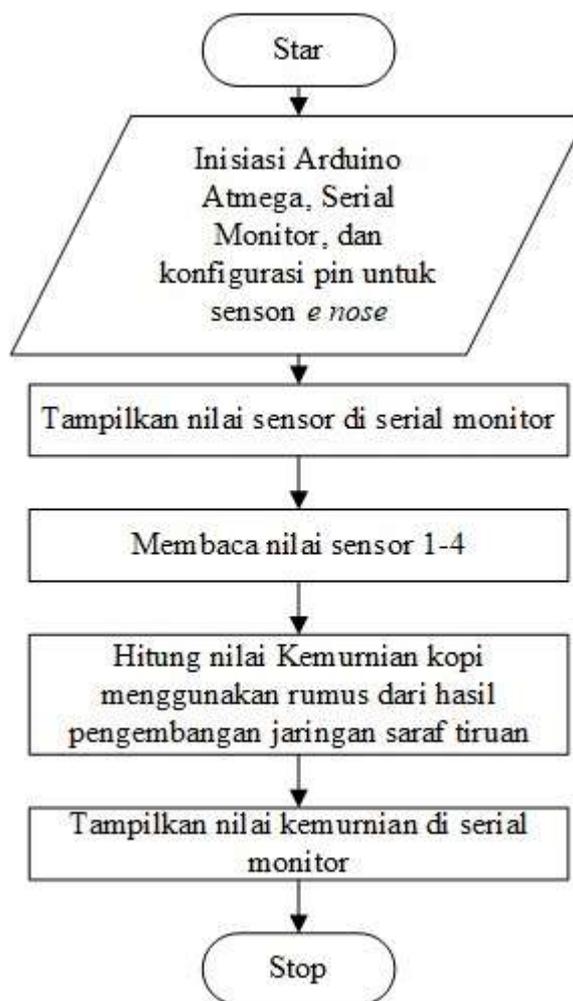
ANOVA merupakan sebuah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis perbedaan antara rata-rata dari tiga atau lebih kelompok.

Tujuannya adalah untuk menilai apakah terdapat perbedaan signifikan antara rata-rata kelompok-kelompok tersebut. Data yang diperoleh secara statistik dengan menggunakan uji Analisis of Variant (ANOVA) dua arah dengan menggunakan aplikasi minitab. Hasil uji anova yang signifikan berbeda akan dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil).

3.9 Pemrograman

Dalam penelitian ini, penulisan kode dilakukan dengan bantuan aplikasi Arduino IDE yang telah terinstal pada laptop. Aplikasi merupakan perangkat lunak yang mampu menjalankan instruksi yang diberikan oleh pengguna, dengan tujuan spesifik sesuai keinginan pengguna. Aplikasi juga merupakan program yang dapat digunakan untuk melaksanakan perintah dari pengguna dengan lebih tepat sesuai kebutuhan. Aplikasi ini dapat digunakan dalam pengolahan data pada komputasi yang diinginkan (Abdurahman, 2014).

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang berfungsi dalam pengembangan dan pemrograman proyek menggunakan papan Arduino. Fungsinya mencakup penyusunan kode program, pengunggahan kode ke papan Arduino, serta pemantauan dan pengendalian perangkat yang terhubung. Di dalam lingkungan IDE ini, pengguna memiliki kesempatan untuk membuat prototipe perangkat elektronik, mengintegrasikan sensor dan aktuator, merancang proyek berbasis IoT, memberikan pengajaran pemrograman, serta mengelola sistem otomatis.



Gambar 11. Alur Pemrograman

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Sensor *E-Nose*

Hasil dari perancangan alat sensor *e-nose* berupa kotak *chamber* berukuran 15cm x 22 cm. Ditunjukkan pada Gambar 12. Kotak yang digunakan terbuat dari bahan kaca karena memiliki bahan yang kokoh, kuat, dan tahan dalam kejenuhan aroma. Bagian dalam kotak *chamber* sampel kopi ini terdapat 4 sensor yang digunakan yaitu, Sensor MQ-136, TGS 822, TGS2600 dan TGS813 yang dimana setiap sensor memiliki fungsi yang berbeda-beda tetapi saling terhubung satu sama lain.



Gambar 12. *Chamber* Sampel Kopi



Gambar 13. Komponen Sensor



Gambar 14. Sampel Kopi

Pada penelitian ini menggunakan empat jenis sensor yang dimana tiap-tiap sensor memiliki fungsi untuk mendeteksi kandungan gas dalam bubuk kopi.

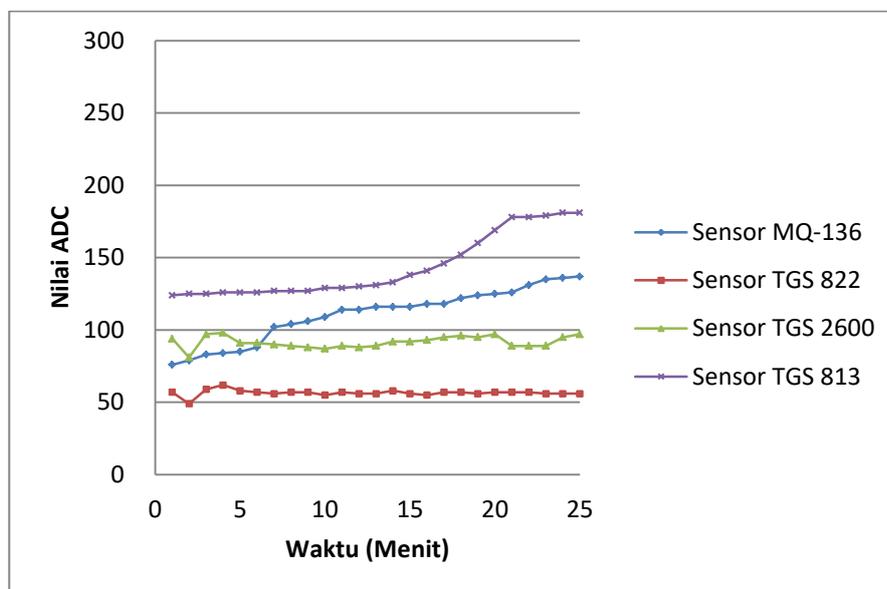
Tabel 4. Jenis-Jenis Sensor Dan Fungsinya

| Sensor | Fungsi Sensor | Kandungan Pada Kopi | Sumber Pustaka |
|----------|---|--|--|
| MQ-136 | Mendeteksi gas <i>amonia</i> (NH ₃). | Gas <i>amonia</i> terdapat pada bubuk kopi luwak dalam jumlah yang tidak signifikan. | Jurnal Perbandingan Karakteristik Fisis Kopi Luwak:2013. |
| TGS 822 | Mendeteksi gas <i>amonia</i> (NH ₃), <i>alcohol</i> (C ₂ H ₆ O), dan <i>benzene</i> (C ₆ H ₆). | Terdapat 0,01% pada kopi arabika dan luwak. | Journal of Food Engineering.E-ISSN. 2810-0824 Vol. 2 No. 1 Januari 2023. |
| TGS 2600 | Mendeteksi gas <i>hydrogen</i> (H ₂) dan <i>karbon monoksida</i> (CO). | Gas <i>hidrogen</i> dan <i>monoksida</i> terdaoat dalam bubuk kopi arabika dan luwak | Jurnal Nasional Teknik elektro:Vol: 5, No. 3, |

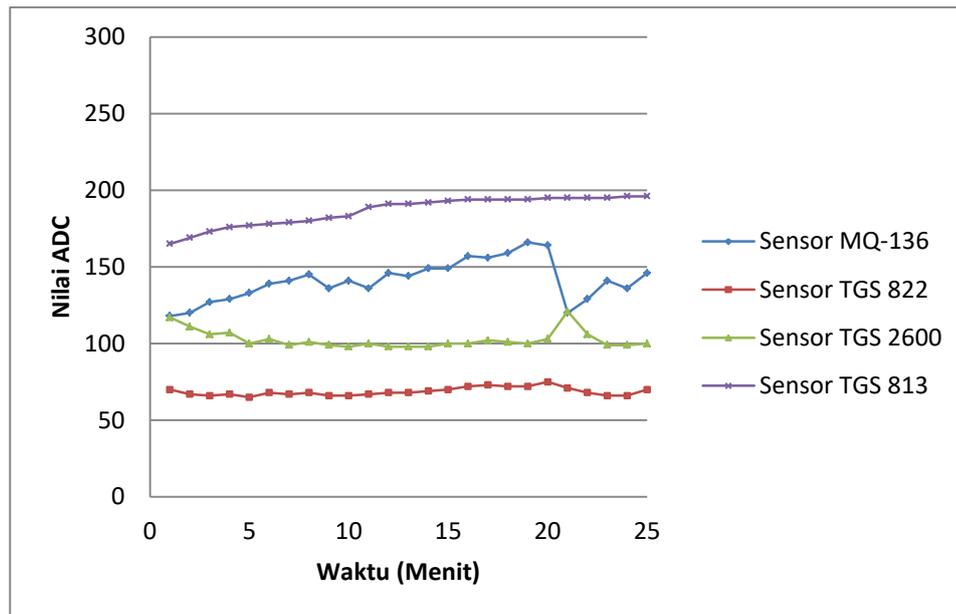
| | | | |
|---------|---|--|---|
| | | dalam jumlah yang tidak signifikan. | November 2016. |
| TGS 813 | gas metana (CH_4), <i>butane</i> (C_4H_{10}), dan <i>propana</i> (C_3H_8). | Terdapat pada bubuk kopi luwak dan arabika dalam jumlah yang tidak signifikan. | Jurnal Agritrop, Vol. 17 (2): 220-229, Desember 2019. |

4.2 Hubungan Antara Aroma Bubuk Kopi dengan Nilai ADC

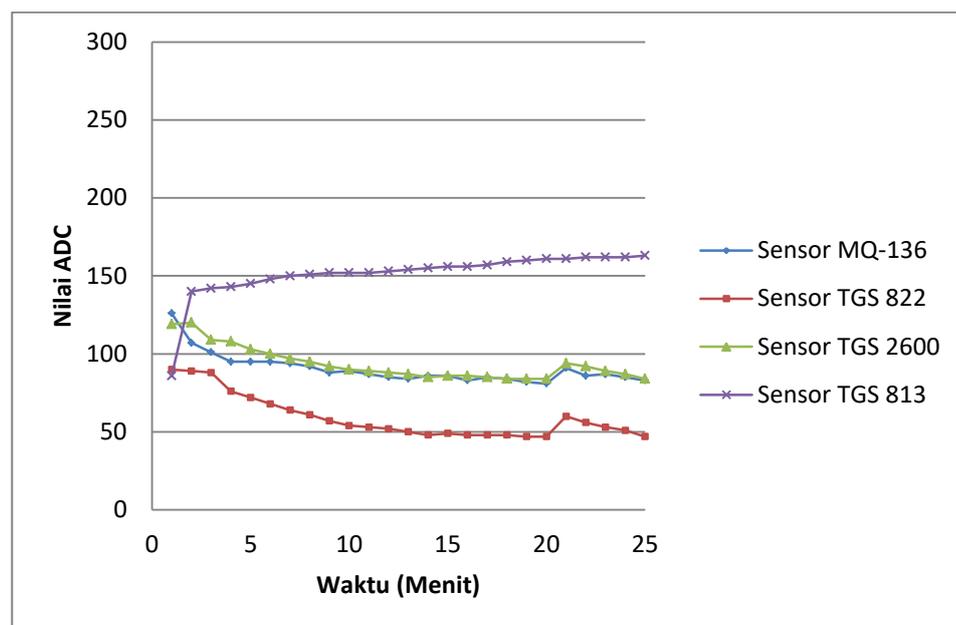
Aroma bubuk kopi merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan proses mencari kemurnian dan mutu dari kopi tersebut. Mencari kemurnian bubuk kopi dengan menggunakan hidung buatan yang disebut sensor *e-nose*.



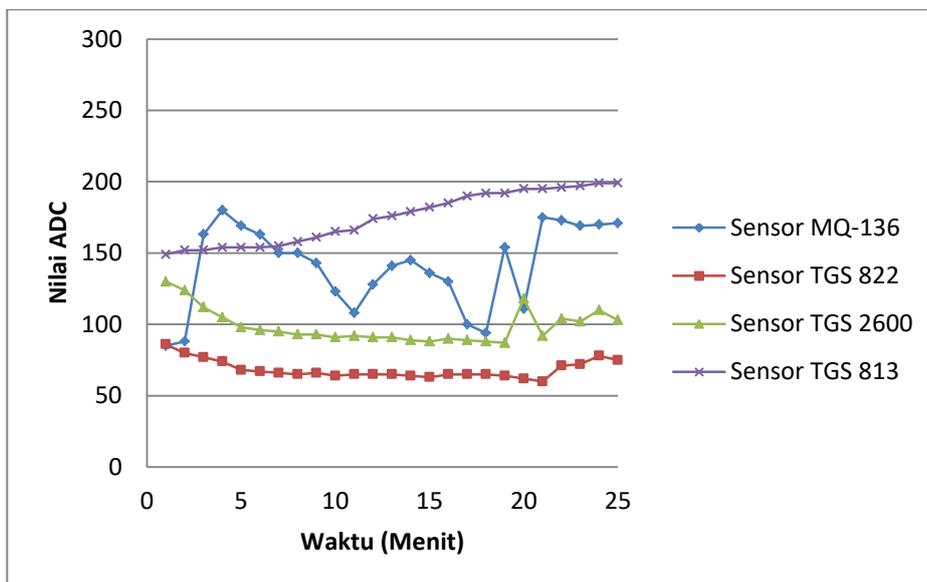
Gambar 15. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 0%



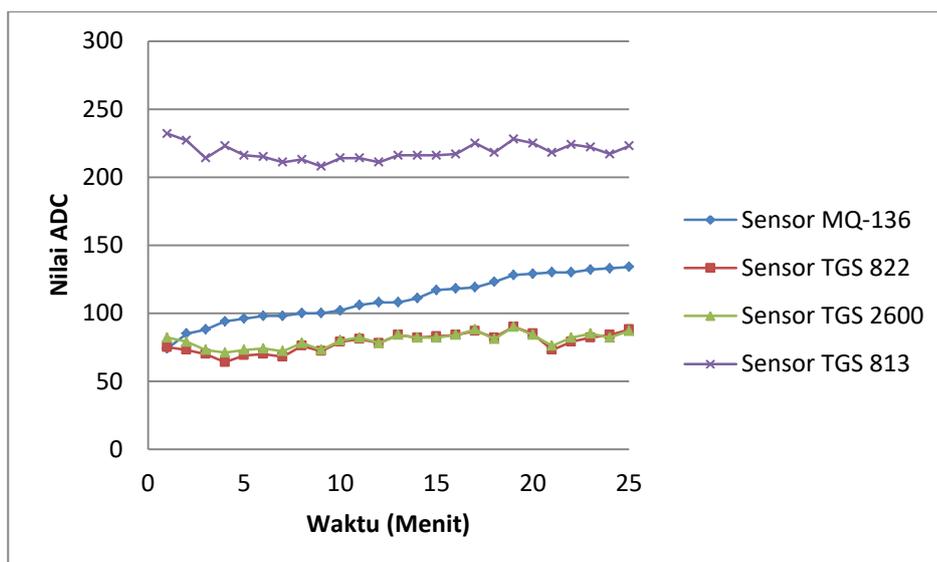
Gambar 16. Nilai ADC Bubuk Kopu Luwak 25%



Gambar 17. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 50%



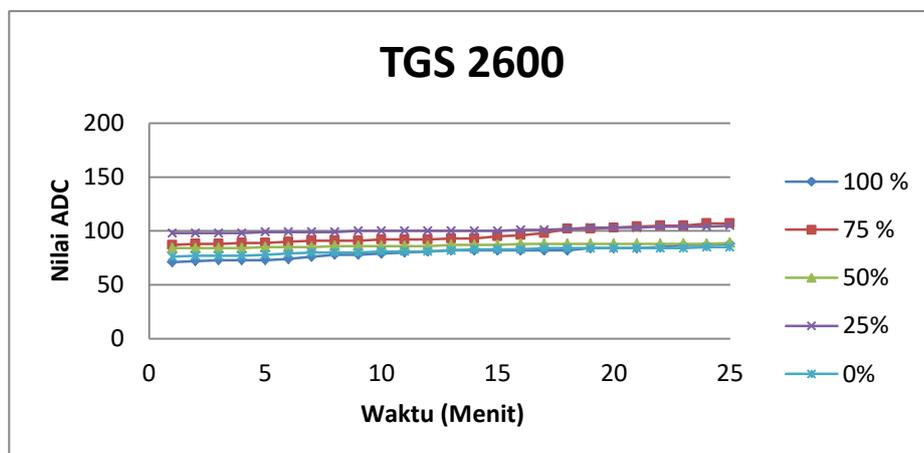
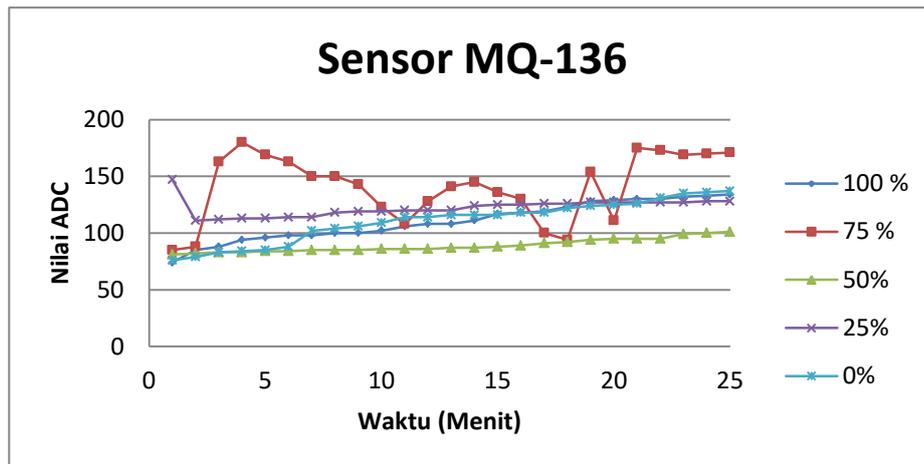
Gambar 18. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 75%

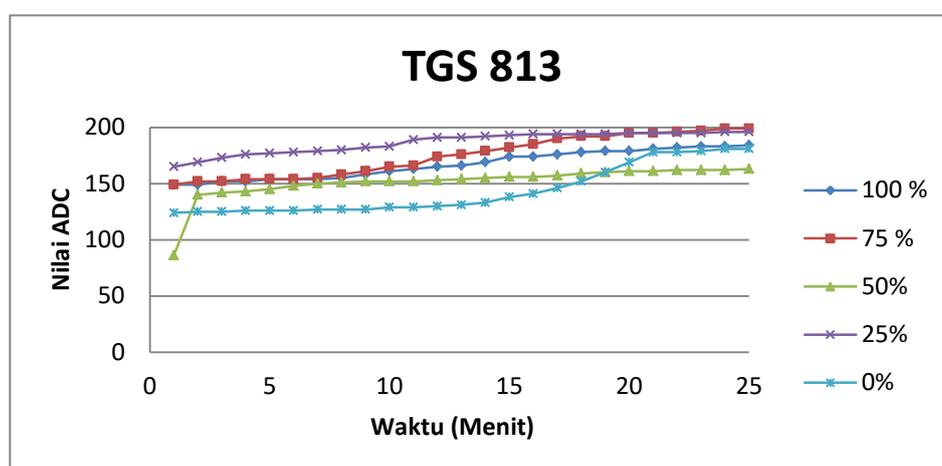
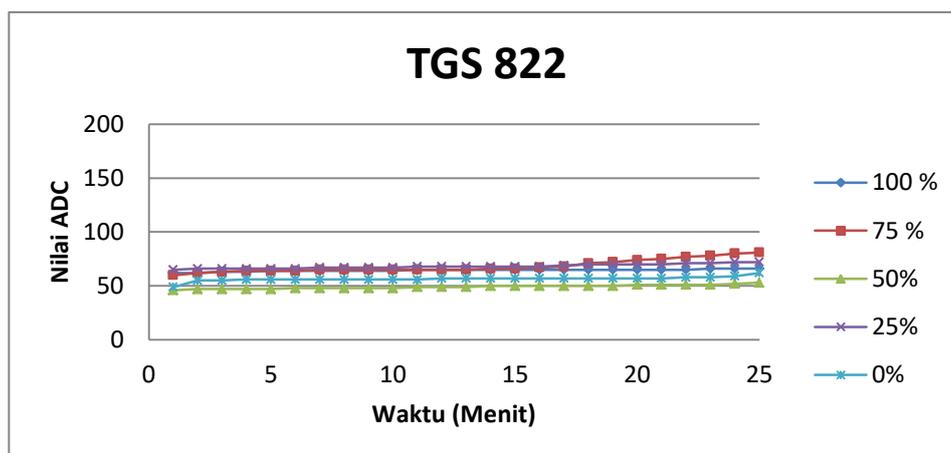


Gambar 19. Nilai ADC Bubuk Kopi Luwak 100%

Gambar 15 hingga Gambar 19 menjelaskan grafik hubungan antara nilai ADC dan kemurnian bubuk kopi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai ADC yang ada pada empat jenis sensor memiliki perbedaan rentang nilai. Pada bubuk kopi luwak 0% rentang nilai sensor ADC 1 antara 76-219, ADC 2 antara 49-97, ADC 3 antara 76-104, ADC 4 124-359. Pada bubuk kopi luwak 25% rentang nilai sensor ADC 1 antara 111-166, ADC 2 antara 65-80, ADC 3 antara 98-124, ADC

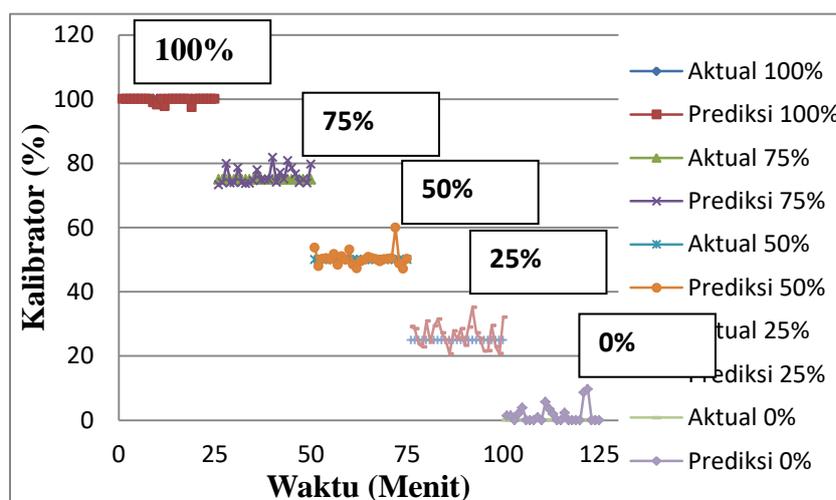
4 antara 165 – 354. Pada bubuk kopi luwak 50% rentang nilai sensor ADC 1 antara 81-147, ADC 2 antara 46-114, ADC 3 antara 84-201, ADC 4 antara 86-271. Pada bubuk kopi luwak 75% rentang nilai sensor ADC 1 antara 85-180, ADC 2 antara 60-113, ADC 3 antara 87-130, ADC 4 antara 149-298. Pada bubuk kopi luwak 100% rentang nilai sensor ADC 1 antara 74-214, ADC 2 antara 62-90, ADC 3 antara 71-130, ADC 4 antara 149-327.





Gambar 20 Grafik perbandingan nilai sensor terhadap persentase kemurnian kopi (a) Sensor MQ-136, (b) Sensor TGS 822, (c) Sensor TGS 2600, (d) Sensor TGS 813

Dapat dilihat dari penjabaran diatas bahwa setiap campuran bubuk kopi memiliki karakteristik gas yang berbeda – beda terlihat pada rentang nilai ADC tiap – tiap sensor. Nilai ADC pada bubuk kopi luwak 0% menunjukan nilai yang sangat tinggi dibandingkan dengan campuran bubuk kopi yang lain, dikarenakan pada bubuk kopi luwak 0% terdapat 100% bubuk arabika yang dimana kandungan gas amonia, *hydrogen sulfide*, dan karbondioksida pada kopi arabika lebih tinggi dibandingkan pada kopi luwak robusta (Rabersyah, dkk 2016).



Gambar 21. Grafik Stabilitas Sensor

Grafik di atas menunjukkan nilai ADC dari masing masing sensor pada setiap persentase kemurnian kopi di setiap menit. Pada setiap persentase nilai sensor semakin tinggi karena pada setiap kemurnian, kopi akan dicampurkan dengan bubuk kopi arabika sampai dengan perbandingan 0% luwak dan 100% arabika yang dimana kandungan gas amonia, hydrogen sulfide, dan karbondioksida yang dideteksi oleh sensor pada kopi arabika memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada kopi luwak, sehingga kemurnian kopi dari 100% hingga ke 0% akan memiliki nilai ADC yang semakin meningkat. Naik turun nya nilai ADC yang dideteksi oleh sensor itu disebabkan karena aroma kopi yang dihasilkan dalam *chamber* mungkin bervariasi seiring waktu, hal itu terjadi karena faktor seperti suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara yang dapat mempengaruhi distribusi aroma di dalam *chamber*.

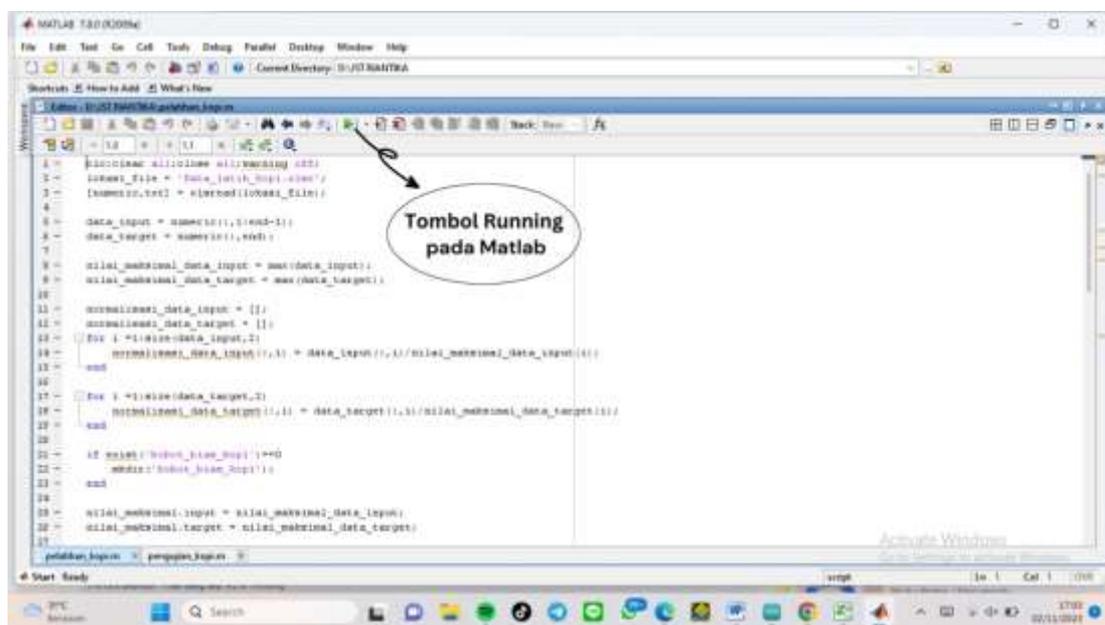
4.3 Kalibrasi Rancangan Alat Sensor

4.3.1 Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan

Dalam melakukan proses pelatihan model Jaringan Saraf Tiruan (JST) menggunakan *software* MATLAB hal yang pertama yang di lakukan ialah melakukan *input* data untuk diolah oleh JST. Pelatihan model Jaringan Saraf Tiruan pada penelitian ini menggunakan dua *hidden layer* dengan dengan node yang menyesuaikan dengan jumlah variasi input yang digunakan, *learning rate*

0,001, tipe pelatihan yaitu *tranlm* dan jumlah *epoch* 10000. *Epoch* memiliki arti satu siklus *algoritma machine learning* dari set data *training* secara keseluruhan. Pada proses jaringan saraf tiruan terdapat proses pembelajaran yang berulang dengan tujuan untuk mencapai konvergensi nilai bobot. Nilai *epoch* yang sesuai tidak dapat diketahui (Negnevitsky, 2011). Waktu yang diperlukan untuk mencapai 1000 *epoch* adalah 13 detik. Nilai Proses pelatihan jaringan saraf tiruan menggunakan 27 variasi fungsi aktivasi dari varian *logsig*, *tansig*, dan *purelin*. Data yang dipakai untuk data latih adalah sebanyak 80% dari jumlah seluruh data. Sisa data 20 % dari jumlah keseluruhan yang ada selanjutnya digunakan untuk validasi model JST.

Dalam melakukan proses pelatihan model jaringan saraf tiruan menggunakan *software* MATLAB hal yang pertama yang di lakukan ialah melakukan *input* data untuk diolah oleh jaringan saraf tiruan. Pelatihan model jaringan saraf tiruan menggunakan dua *hidden layer* dengan dengan node 6-6-1, *learning rate* 0,001, tipe pelatihan yaitu *tranlm* dan jumlah *epoch* 10000. Proses pelatihan menggunakan 27 variasi fungsi aktivasi dari varian *logsig*, *tansig*, dan *purelin*.



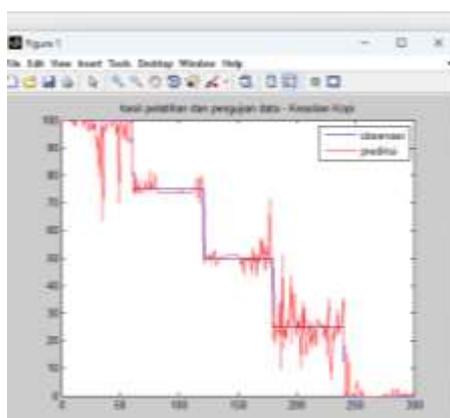
Gambar 22. Tampilan Layar Pada *Software* MATLAB

Setelah melakukan inisialisasi jaringan maka tahap berikutnya ialah membuka *software* MATLAB, setelah memasukkan variasi fungsi aktivasi lalu tekan

tombol *running* pada *software* seperti pada Gambar 18 Pada proses pelatihan pengembangan model Jaringan Saraf Tiruan akan tampil dua grafik seperti pada Gambar 21 dan 22.



Gambar 23. Hasil JST plot perform



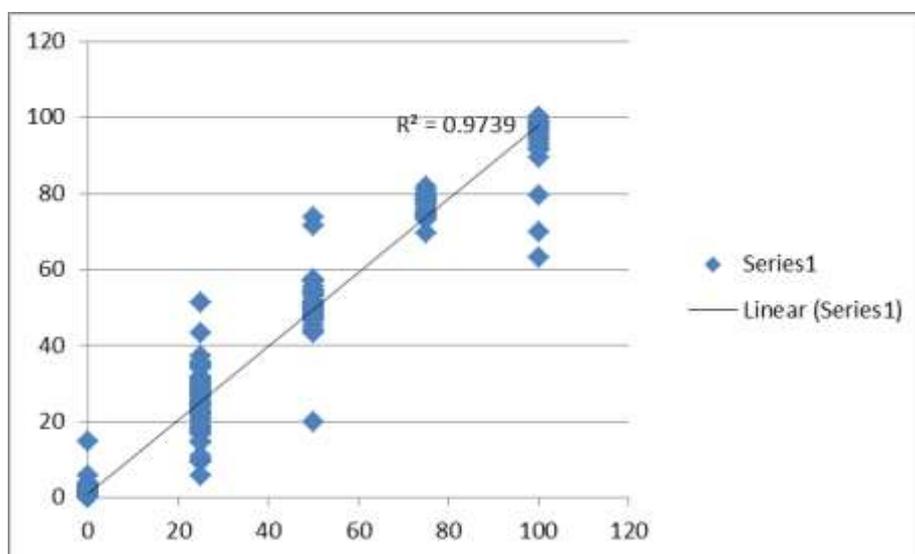
Gambar 24. Hasil Jaringan Saraf Tiruan plot *regression*

Dapat diketahui berdasarkan gambar hasil dari proses JST *backpropagation* yang ditampilkan dalam bentuk grafik serta proses pembelajaran pada setiap *epoch*. Pada proses ini, iterasi dihentikan pada *epoch* ke-1000. Kemudian pada gambar menunjukkan hubungan antara nilai observasi dan prediksi yang berada pada data pelatihan.

Tabel 5. Daftar Hasil Pelatihan Model Kalibrasi JST Terbaik Pada Tiap Variasi Input

| No. | Fungsi Aktivasi | R ² | RMSE |
|-----|------------------------------------|----------------|-----------------|
| 1. | <i>logsig-logsig-logsig</i> | 0,923 | 9,968573 |
| 2. | <i>tansig-tansig-tansig</i> | 0,8363 | 14,31033 |
| 3. | <i>purelin-purelin-purelin</i> | 0,0819 | 33,87599 |
| 4. | <i>logsig-purelin-purelin</i> | 0,6191 | 21,82017 |
| 5. | <i>tansig-purelin-purelin</i> | 0,6582 | 20,66981 |
| 6. | <i>tansig-purelin-tansig</i> | 0,5048 | 24,88477 |
| 7. | <i>purelin-purelin-logsig</i> | 0,083 | 33,85597 |
| 8. | <i>purelin-logsig-purelin</i> | 0,6359 | 21,33489 |
| 9. | <i>purelin-purelin-tansig</i> | 0,0825 | 33,86492 |
| 10. | <i>purelin-tansig-purelin</i> | 0,6276 | 21,57522 |
| 11. | <i>tansig-tansig-logsig</i> | 0,9509 | 7,854816 |
| 12. | <i>tansig-logsig-tansig</i> | 0,9319 | 9,24112 |
| 13. | <i>logsig-tansig-tansig</i> | 0,8835 | 12,06997 |
| 14. | <i>tansig-tansig-purelin</i> | 0,8202 | 14,99106 |
| 15. | <i>purelin-tansig-tansig</i> | 0,276 | 30,08279 |
| 16. | <i>logsig-logsig-tansig</i> | 0,9339 | 9,13487 |
| 17. | <i>logsig-tansig-logsig</i> | 0,9739 | 5,877334 |
| 18. | <i>tansig-logsig-logsig</i> | 0,932 | 9,301418 |
| 19. | <i>logsig-logsig-purelin</i> | 0,8613 | 13,16711 |
| 20. | <i>logsig-purelin-logsig</i> | 0,7324 | 18,94672 |
| 21. | <i>purelin-logsig-logsig</i> | 0,7846 | 16,65046 |
| 22. | <i>logsig-tansig-purelin</i> | 0,8759 | 12,45376 |
| 23. | <i>tansig-purelin-logsig</i> | 0,7144 | 20,233 |
| 24. | <i>purelin-logsig-tansig</i> | 0,5679 | 23,25434 |
| 25. | <i>tansig-logsig-purelin</i> | 0,8853 | 11,97632 |
| 26. | <i>purelin-tansig-logsig</i> | 0,7936 | 16,56948 |
| 27. | <i>logsig-purelin-tansig</i> | 0,699 | 19,40444 |

Hasil dari fungsi aktivasi dengan nilai RMSE dan *koefisien determinasi* (R^2) terbaik pada pelatihan model JST dari tiap variasi berdasarkan input yang digunakan, didapatkan hasil untuk input kemurnian kopi memiliki nilai *koefisien determinasi* sebesar 0,9739 dengan RMSE sebesar 5,877334. Nilai *root mean square error* (RMSE) yang rendah dan nilai *koefisien determinasi* (R^2) yang tinggi mengindikasikan bahwa model tersebut merupakan model terbaik. Menurut Kargi (2013), nilai *koefisien determinasi* (R^2) yang tinggi dan nilai *root mean square error* (RMSE) yang rendah mengindikasikan bahwa model tersebut merupakan model terbaik. Maka dari itu, ketika proses pelatihan dilakukan, nilai RMSE terkecil dan *koefisien determinasi* (R^2) terbesar yang dipilih. Hasil dari fungsi aktivasi dengan nilai RMSE dan *koefisien determinasi* (R^2) terbaik pada pelatihan model jaringan saraf tiruan ialah pada fungsi aktivasi *logsig-tansig-logsig*. Pada jaringan saraf tiruan ini, tingkat keakurasian tinggi dan *error* yang kecil yang menjadi acuan. Berikut merupakan grafik hasil dari proses pelatihan model jaringan saraf tiruan yang telah dilakukan Hasil pelatihan model JST dari beberapa input dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik Pelatihan Model Jaringan Saraf Tujuan Input (Presentase Kemurnian)

Tujuan dilakukannya proses pelatihan adalah untuk mengkalibrasi model JST yang akan menghasilkan persamaan matematika terbaik. Kalibrasi model JST merupakan tahapan setelah dilakukannya proses pelatihan model JST. Proses

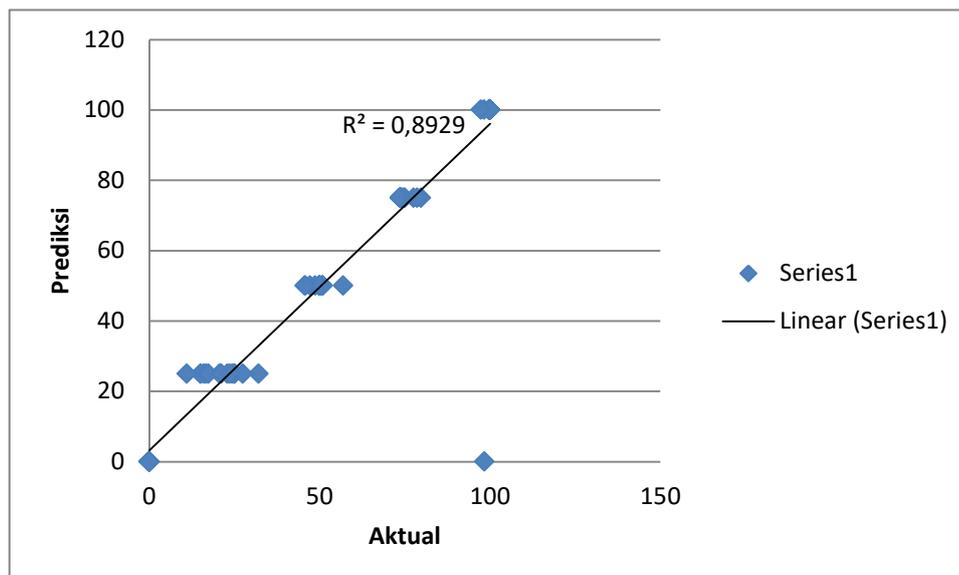
kalibrasi ini akan menghasilkan data prediksi. Proses kalibrasi dilakukan dengan insialisasi jaringan yang sama pada proses pelatihan jaringan. Data yang akan digunakan sebagai data acuan adalah data dengan nilai akurasi tertinggi dan nilai *error* terendah.

Pada grafik di atas menunjukkan nilai R^2 dengan fungsi aktivasi yang menghasilkan nilai RMSE paling kecil dan nilai *koefisien determinasi* yang paling besar atau mendekati 1 ialah fungsi aktivasi *logsig-tansig-logsig*. *Root Mean Square* (RMSE) yang didapat sebesar 5,877334 dengan *koefisien determinasi* (R^2) yang didapatkan ialah 0,9739. Nilai *koefisien determinasi* mendekati 1 menunjukkan bahwa hasil dari pelatihan model JST yang dilakukan sangat akurat untuk memprediksi nilai kemurnian kopi.

Pengujian model JST merupakan tahapan lanjutan setelah melakukan proses pelatihan model JST. Data yang dihasilkan dari proses pengujian model JST ialah data prediksi. Sama halnya dengan proses pelatihan model JST yaitu menggunakan inisialisasi yang sama. Fungsi aktivasi dikatakan paling baik apabila nilai RMSE terkecil dan *koefisien determinasi* tertinggi pada pengujian model JST. Hasil fungsi aktivasi terbaik ditampilkan pada tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 6. Daftar Hasil Pengujian Model Kalibrasi JST Terbaik Pada Tiap Variasi Input

| No. | Fungsi Aktivasi | R ² | RMSE |
|-----|------------------------------------|----------------|-----------------|
| 1. | <i>logsig-logsig-logsig</i> | 0,5604 | 25,38327 |
| 2. | <i>tansig-tansig-tansig</i> | 0,8166 | 15,85541 |
| 3. | <i>purelin-purelin-purelin</i> | 0,1174 | 33,40612 |
| 4. | <i>logsig-purelin-purelin</i> | 0,5651 | 23,39858 |
| 5. | <i>tansig-purelin-purelin</i> | 0,5858 | 23,09364 |
| 6. | <i>tansig-purelin-tansig</i> | 0,4222 | 27,03283 |
| 7. | <i>purelin-purelin-logsig</i> | 0,1164 | 33,3881 |
| 8. | <i>purelin-logsig-purelin</i> | 0,615 | 22,02671 |
| 9. | <i>purelin-purelin-tansig</i> | 0,1211 | 33,31069 |
| 10. | <i>purelin-tansig-purelin</i> | 0,569 | 23,21357 |
| 11. | <i>tansig-tansig-logsig</i> | 0,7653 | 24,81289 |
| 12. | <i>tansig-logsig-tansig</i> | 0,4877 | 27,74648 |
| 13. | <i>logsig-tansig-tansig</i> | 0,4237 | 30,74924 |
| 14. | <i>tansig-tansig-purelin</i> | 0,546 | 24,49132 |
| 15. | <i>purelin-tansig-tansig</i> | 0,7199 | 29,19403 |
| 16. | <i>logsig-logsig-tansig</i> | 0,7969 | 26,10307 |
| 17. | <i>logsig-tansig-logsig</i> | 0,8929 | 13,59786 |
| 18. | <i>tansig-logsig-logsig</i> | 0,538 | 26,00997 |
| 19. | <i>logsig-logsig-purelin</i> | 0,5648 | 27,01198 |
| 20. | <i>logsig-purelin-logsig</i> | 0,8262 | 22,4295 |
| 21. | <i>purelin-logsig-logsig</i> | 0,7762 | 21,44997 |
| 22. | <i>logsig-tansig-purelin</i> | 0,577 | 24,47445 |
| 23. | <i>tansig-purelin-logsig</i> | 0,5755 | 25,12077 |
| 24. | <i>purelin-logsig-tansig</i> | 0,3271 | 29,92887 |
| 25. | <i>tansig-logsig-purelin</i> | 0,721 | 22,33372 |
| 26. | <i>purelin-tansig-logsig</i> | 0,505 | 28,07169 |
| 27. | <i>logsig-purelin-tansig</i> | 0,5965 | 22,62582 |



Gambar 26. Grafik Pengujian Model Jaringan Saraf Tujuan *Input* (Presentase Kemurnian)

Mengacu pada Gambar 24 diketahui bahwa hasil data pengujian memiliki prediksi model yang akurat ($>0,9$) dengan nilai R^2 yang didapatkan ialah 0,8929. Sedangkan, nilai *Root Mean Square* (RMSE) yang didapat sebesar 13,59786 dengan fungsi aktivasi yang digunakan ialah *logsig-tansig-logsig*. Hal ini menunjukkan bahwa model prediksi tersebut akurat dalam memprediksi nilai kemurnian kopi dalam *blending* bubuk kopi luwak dan bubuk kopi arabika. Menurut Hermawati (2018), nilai *koefisien determinasi* (R^2) yang tinggi dan nilai *root mean square error* (RMSE) yang rendah mengindikasikan bahwa model tersebut merupakan model terbaik. Maka dari itu, ketika proses pelatihan dilakukan, nilai RMSE terkecil dan *koefisien determinasi* (R^2) terbesar yang akan dipilih.

4.3.2 Persamaan Matematika dari Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan

Pada penelitian ini memiliki tujuan khusus yaitu mendapatkan nilai persamaan model matematika yang dihasilkan dari proses pengembangan model JST. Fungsi aktivasi dengan nilai RMSE terkecil dan *koefisien determinasi* tertinggi yang digunakan untuk mendapatkan nilai bobot dan bias model JST. Berikut

merupakan tampilan dari bobot dan bias dalam bentuk .txt yang dapat dibuka di aplikasi *notepad* pada laptop.

| Name | Date modified | Type | Size |
|------------------|------------------|---------------|------|
| bias_H1_H2_kopi | 02/11/2023 17:06 | Text Document | 1 KB |
| bias_H2_O_kopi | 02/11/2023 17:06 | Text Document | 1 KB |
| bias_I_H1_kopi | 02/11/2023 17:06 | Text Document | 1 KB |
| bobot_H1_H2_kopi | 02/11/2023 17:06 | Text Document | 1 KB |
| bobot_H2_O_kopi | 02/11/2023 17:06 | Text Document | 1 KB |
| bobot_I_H1_kopi | 02/11/2023 17:06 | Text Document | 1 KB |

Gambar 27. Tampilan folder bobot dan bias yang tersimpan dalam bentuk .txt

Bobot dan bias yang telah terekam setelah pengembangan model JST kemudian dicari persamaan matematikanya dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

Dimana pembentukan persamaan matematis dari file bobot-bias yang terekam. Jika dibelakang nilai bobot dan bias ada e-01 berarti 10^{-1} atau nilai dikali 0,1, sedangkan jika dibelakang nilai bobot dan bias ada e+00 berarti 10^0 atau nilainya dikali 1 (tetap), begitu juga bila dibelakang nilai bobot dan bias ada e+01 maka 10^1 atau nilai dikali 10.

1. Persamaan fungsi aktivasi *logsig* adalah : $y = 1/(1+\exp(-x))$
2. Persamaan fungsi aktivasi *tansig* adalah : $y = (1-\exp(-2x))/(1+\exp(-2x))$
3. Persamaan fungsi aktivasi *purelin* adalah : $y = x$

Setelah melakukan pengembangan model JST telah didapatkan fungsi aktivasi terbaik yaitu *logsig-tansig-logsig*. Nilai input pada model matematika harus dilakukan normalisasi terlebih dahulu sebelum menggunakan persamaan model matematika. Normalisasi merupakan penskalaan terhadap nilai-nilai input dan target hingga nilai-nilai tersebut masuk dalam suatu range tertentu yang disebut preprocessing atau normalisasi data (Chandra, 2015). Proses perhitungan normalisasi dengan cara pembagian nilai X_i (input) dengan nilai input yang paling besar (X_b). Cara melakukan normalisasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Normalisasi} = \frac{X_i}{X_b}$$

Keterangan:

X_i : Nilai x pada i

Xb : Nilai x paling besar

Sebagai contoh, nilai input paling besar dari (X_1) penelitian ini ialah 332, ketika kita mencoba input nilai 99 pada persamaan model matematika, maka nilainya harus dihitung terlebih dahulu menjadi:

$$\text{Normalisasi } X_1 = \frac{74}{219} = 0,338$$

Jadi, nilai X_1 yang dimasukkan ke dalam persamaan model matematika menjadi 0,338. Nilai terbesar dari nilai ADC 2 (X_2)-nya ialah 114, maka apabila kita ingin input nilai X_2 sebesar 62, proses perhitungan normalisasi menjadi:

$$\text{Normalisasi } X_2 = \frac{62}{114} = 0,544$$

Nilai X_2 yang diinput menjadi 0,544. Dan apabila nilai ADC 3 (X_3) yang paling besar ialah 201, ketika ingin memasukkan nilai X_3 sebesar 71, proses perhitungannya menjadi:

$$\text{Normalisasi } X_3 = \frac{201}{71} = 0,353$$

Nilai X_3 yang di input menjadi 3,728. Apabila nilai ADC 4 (X_4) yang paling besar ialah 359, ketika ingin memasukkan nilai X_4 sebesar 149, proses perhitungannya menjadi:

$$\text{Normalisasi } X_4 = \frac{149}{359} = 0,415$$

Dalam persamaan model matematika. Hal ini berlaku pada semua data di parameter pada input. Nilai-nilai input yang telah di normalisasi tersebut kemudian dimasukkan kedalam persamaan matematika yang berada di *mikrokontroler*. Berikut merupakan nilai bobot dan bias yang telah diuraikan sehingga mendapatkan nilai persamaan matematika.

1. Persamaan Matematika pada Bobot I H₁ dan Bias I H₁

Bobot I H₁

| | | | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5.1211892e+001 | 1.0270444e+001 | 3.1643844e+001 | -1.0767097e+001 |
| 2.4173256e-001 | -2.5634192e+000 | 5.0431485e+000 | -1.7490662e-001 |
| 1.2174375e+001 | 7.0185473e+000 | -3.3182297e+001 | 1.3495083e+000 |
| 8.7549580e-001 | -7.1894897e+000 | 6.9196812e+000 | -1.6315010e+001 |

-2.0855442e+000 7.1878220e+001 2.7740141e+001 3.3148157e+000
 1.5687316e+001 -7.0217376e+000 2.7574051e+001 -2.2951635e+001

Bias I H₁

-3.9573549e+001

-2.5050269e+000

-1.4879098e-001

1.2549381e+001

-4.7012639e+001

-2.4531401e+000

Setelah mendapatkan bobot dan bias kemudian menulis persamaan matematika sebagai berikut :

Persamaan Matematika

$$Y_1 = 51,211892(X_1) + 10,270444(X_2) + 31,643844(X_3) - 10,767097(X_4) - 39,573549$$

$$Y_2 = 0,24173256(X_1) - 2,5634192(X_2) + 5,0431485(X_3) - 0,17490662(X_4) + 2,5050269$$

$$Y_3 = 12,174375(X_1) + 7,0185473(X_2) - 33,182297(X_3) + 1,3495083(X_4) - 0,14879098$$

$$Y_4 = 0,87549580(X_1) - 7,1894897(X_2) + 6,9196812(X_3) - 16,315010(X_4) + 12,549381$$

$$Y_5 = -2,0855442(X_1) + 71,878220(X_2) + 27,740141(X_3) + 3,3148157(X_4) - 47,012639$$

$$Y_6 = 15,687316(X_2) - 7,021737(X_2) + 27,574051(X_3) - 22,951635(X_4) - 2,4531401$$

$$Y_7 = 1/(1 + \exp(-Y_1))$$

$$Y_8 = 1/(1 + \exp(-Y_2))$$

$$Y_9 = 1/(1 + \exp(-Y_3))$$

$$Y_{10} = 1/(1 + \exp(-Y_4))$$

$$Y_{11} = 1/(1 + \exp(-Y_5))$$

$$Y_{12} = 1/(1 + \exp(-Y_6))$$

2. Persamaan Matematika Pada Bobot H_1 H_2 dan Bias H_1 H_2

Bobot H_1 H_2

| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| -8.2352557e+001 | 1.0517329e+001 | 1.7303892e+000 | 1.6385368e+001 |
| 1.0359336e+001 | -2.5364162e+001 | | |
| 4.6592264e+000 | 8.4514659e+001 | -4.0455273e+000 | -1.0702333e+001 |
| 2.4262279e-001 | 1.1838272e+001 | | |
| -3.8903248e-002 | -3.1800856e+000 | 5.8866143e+000 | 1.2853186e+001 - |
| 8.9586665e+000 | -8.1218764e+000 | | |
| -2.8932313e-001 | 4.7932316e+001 | 5.6818272e+000 | 8.5040961e+000 |
| 7.0050694e+000 | -9.2601559e+000 | | |
| 8.3137908e-001 | -4.5657348e+001 | 6.7207607e+000 | -8.7627796e+000 |
| 8.2959133e+000 | 9.2203842e+000 | | |
| -3.1593814e+000 | -4.8709731e+000 | -1.1612415e+001 | -1.9832481e+001 |
| 5.4529624e+001 | 2.8194932e+001 | | |

Bias H_1 H_2

7.8702404e+001
 -1.2566737e+001
 3.5113750e+000
 -1.6133143e+001
 1.4858130e-003
 -5.9009532e+001

Persamaan Matematika :

$$Y_{13} = -82,352557(Y_7) + 10,517329 (Y_8) + 1,7303892 (Y_9) + 16,385368 (Y_{10}) + 10,359336(Y_{11}) - 25,364162 (Y_{12}) + 78,702404$$

$$Y_{14} = 4,6592264 (Y_7) + 84,514659 (Y_8) - 4,0455273 (Y_9) - 10,702333 (Y_{10}) - 0,24262279 (Y_{11}) + 11,838272 (Y_{12}) - 12,566737$$

$$Y_{15} = -0,038903248 (Y_7) - 3,1800856 (Y_8) + 5,8866143 (Y_9) + 12,853186 (Y_{10}) - 8,9586665 (Y_{11}) - 8,1218764 (Y_{12}) + 3,5113750$$

$$Y_{16} = -0,28932313(Y_7) + 47,932316 (Y_8) + 5,6818272 (Y_9) + 8,5040961 (Y_{10}) + 7,0050694 (Y_{11}) - 9,2601559 (Y_{12}) - 16,133143$$

$$Y_{17} = 0,83137908 (Y_7) - 45,657348 (Y_8) + 6,7207607 (Y_9) - 8,7627796 (Y_{10}) + 8,2959133 (Y_{11}) + 9,2203842 (Y_{12}) + 0,014858130$$

$$Y_{18} = -3,1593814 (Y_7) - 4,8709731 (Y_8) - 11,612415 (Y_9) - 19,832481 (Y_{10}) + 54,529624 (Y_{11}) + 28,194932 (Y_{12}) - 59,009532$$

$$Y_{19} = (1 - \exp(-2 \cdot Y_{13})) / (1 + \exp(-2 \cdot Y_{13}))$$

$$Y_{20} = (1 - \exp(-2 \cdot Y_{14})) / (1 + \exp(-2 \cdot Y_{14}))$$

$$Y_{21} = (1 - \exp(-2 \cdot Y_{15})) / (1 + \exp(-2 \cdot Y_{15}))$$

$$Y_{22} = (1 - \exp(-2 \cdot Y_{16})) / (1 + \exp(-2 \cdot Y_{16}))$$

$$Y_{23} = (1 - \exp(-2 \cdot Y_{17})) / (1 + \exp(-2 \cdot Y_{17}))$$

$$Y_{24} = (1 - \exp(-2 \cdot Y_{18})) / (1 + \exp(-2 \cdot Y_{18}))$$

3. Persamaan Matematika Pada Bobot H₂ O dan Bias H₂ O

Bobot H₂ O

| | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1.4145635e+001 | 7.8829996e+001 | 6.8611517e+001 | 6.6977610e+001 |
| 6.8036112e+001 | 1.5217104e+001 | | |

Bias H₂ O

$$-1.1320250e+001$$

Persamaan Matematika:

$$Y_{25} = 14,145635(Y_{19}) + 78,829996(Y_{20}) + 68,611517(Y_{21}) + 66,977610(Y_{22}) + 68,036112(Y_{23}) + 15,217104 (Y_{24}) - 11,320250$$

$$Y_{26} = 1 / (1 + \exp(-Y_{25}))$$

$$Y_{27} = 1 / (1 + \exp(-Y_{25})) \times 100$$

Kemudian setelah mendapatkan nilai Y_{26} atau nilai akhir (Y_a), nilai-nilai yang ternormalisasi output jaringan harus dikembalikan (denormalisasi) terlebih dahulu ke nilai aslinya untuk mendapatkan nilai pada *range* yang sebenarnya (Chandra, 2015). Proses perhitungan denormalisasi ialah dengan pengalian antara nilai akhir dengan nilai *output* paling besar (Y_b). Proses denormalisasi dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Normalisasi} = Y_a \times Y_b$$

Keterangan :

Ya : Nilai persamaan matematika Y nilai akhir

Yb : Nilai *output* paling besar

Output dalam penelitian ini adalah kemurnian kopi, dan nilai *output* paling besar adalah 100% .Sehingga nilai persamaan matematika y paling akhir ialah $Y_{27} = Y_{26}$, maka proses perhitungan sebagai berikut :

Denormalisasi $Y_{27} = 1/(1+\exp(-Y_{25})) \times 100\%$

Kemudian dari hasil persamaan matematika tersebut di bandingkan dengan hasil uji data JST yang sudah di buat. Setelah dilakukannya normalisasi nilai dari keseluruhan model matematika nantinya akan di *input* ke dalam *mikrokontroller* melalui program Arduino.

4.4 Integrasi Model JST dengan Mikrokontroller

Langkah terakhir dalam penelitian adalah pengintegrasian model yang didapat dari proses pengembangan yang dilakukan oleh JST. Proses ini berupa model matematika berupa rumus yang telah didapatkan dimasukkan ke dalam *mikrokontroller* dengan bantuan *software* Arduino. Proses memasukkan model matematika ke dalam Arduino diikuti dengan proses pemrograman menggunakan Bahasa pemrograman pada Arduino. Gambar 26 menunjukkan model matematika yang telah dimasukkan ke dalam Arduino beserta nilai normalisasi dan denormalisasi. Nilai *input* yang dimasukkan kedalam Arduino perlu dilakukan proses denormalisasi yaitu nilai *input* dibagi nilai tertinggi dari nilai *input*. Setelah itu, pada nilai akhir perlu dilakukan proses normalisasi yaitu pengalihan dengan nilai tertinggi dari nilai *output*.

```

17 V1= ((21.31202*%sensor1)+ (-19.27044*%sensor2)+ (31.04364*%sensor3)- (19.78797*%sensor4)- (29.27150)) ;
18 V2= ((19.2417258*%sensor1)- (2.593432*%sensor2)+ (3.043385*%sensor3)- (8.1743962*%sensor4)- (1.595028)) ;
19 V3= ((12.174575*%sensor1)+ (-7.820473*%sensor2)- (33.162297*%sensor3)+ (1.340304*%sensor4)- (9.1487908)) ;
20 V4= ((9.8734018*%sensor1)- (7.204487*%sensor2)+ (8.918812*%sensor3)- (16.123016*%sensor4)+ (11.340304)) ;
21 V5= ((-2.8825442*%sensor1)+ (79.87012*%sensor2)+ (27.74014)*%sensor3)+ (3.140127*%sensor4)- (47.012338)) ;
22 V6= ((12.887316*%sensor1)- (-7.811737*%sensor2)+ (27.374801*%sensor3)- (22.902825*%sensor4)- (2.431140)) ;
23
24 V7= 1/(1+exp(-V1)) ;
25
26 V8= 1/(1+exp(-V2)) ;
27
28 V9= 1/(1+exp(-V3)) ;
29
30 V10= 1/(1+exp(-V4)) ;
31
32 V11= 1/(1+exp(-V5)) ;
33
34 V12= 1/(1+exp(-V6)) ;
35
36
37
38 V13= ((-82.36362*V7)+ (18.32252*V8)+ (1.386881*V9)+ (58.38936*V10)+ (16.39938*V11)- (25.34432*V12)+ (18.28104)) ;
39
40 V14= ((8.4992264*V7)+ (94.34489*V8)+ (4.489327*V9)- (18.78219*V10)- (8.242627*V11)+ (11.43827*V12)- (12.98977)) ;
41
42 V15= ((-0.83898248*V7)- (1.188888*V8)+ (3.0886343*V9)+ (3.83338*V10)- (8.98888*V11)- (8.121764*V12)+ (5.5113758)) ;
43
44 V16= ((-0.2891213*V7)+ (47.93216*V8)+ (5.481272*V9)+ (8.98888*V10)+ (7.08988*V11)- (9.780155*V12)+ (16.12163)) ;
45
46 V17= ((8.8117988*V7)- (49.49758*V8)+ (8.729768*V9)- (8.782796*V10)+ (8.295533*V11)+ (8.2293842*V12)+ (9.81448138)) ;
47
48 V18= ((1-exp(-2*V12))/(1+exp(-2*V12))) ;
49
50 V19= ((1-exp(-2*V13))/(1+exp(-2*V13))) ;
51
52 V20= ((1-exp(-2*V14))/(1+exp(-2*V14))) ;
53
54 V21= ((1-exp(-2*V15))/(1+exp(-2*V15))) ;
55
56 V22= ((1-exp(-2*V16))/(1+exp(-2*V16))) ;
57
58 V23= ((1-exp(-2*V17))/(1+exp(-2*V17))) ;
59
60 V24= ((1-exp(-2*V18))/(1+exp(-2*V18))) ;
61
62
63
64
65 V25= ((14.54615*V19)+ (78.32998*V20)+ (88.81557*V21)+ (66.87781*V22)+ (98.88612*V23)+ (15.21294*V24)- (11.12218)) ;
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Gambar 28. Proses input model matematika ke dalam *mikrokontroler*

Proses *verify* dan *uploading* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bahwa program arduino berjalan dengan baik. Kesalahan yang terjadi ditandai dengan munculnya headline berwarna merah yang artinya terdapat error pada proses penulisan. Kesalahan dapat terjadi apabila terdapat kesalahan baik dalam penulisan maupun pengimputan data pada program arduino dan dapat terjadi apabila *port* dan *board* pada menu *tools* belum terpasang.

Untuk memastikan bahwa persamaan matematika yang dibuat benar, maka perlu dilakukan proses pengecekan pada program yang telah diupload dengan memasukkan beberapa nilai ADC yang telah memiliki nilai JST ke dalam program arduino. Tabel 6 merupakan perbandingan antara perhitungan JST dan perhitungan rumus matematika yang telah diintegrasikan ke program arduino.

4.4.1 Penyesuaian Nilai Jaringan Saraf Tiruan

Penyesuaian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil prediksi yang terdapat pada pelatihan yang sudah dilakukan di matlab dengan nilai yang terdapat di Microsoft Excel, pada Microsoft Excel ini dilakukan dengan cara membuktikan nilai model matematika yang sudah di dapatkan dengan menggunakan nilai input dan nilai input terbesar, lalu hasilnya dibandingkan sesuai dengan nilai prediksi yang terdapat di pelatihan matlab. Setelah itu jika

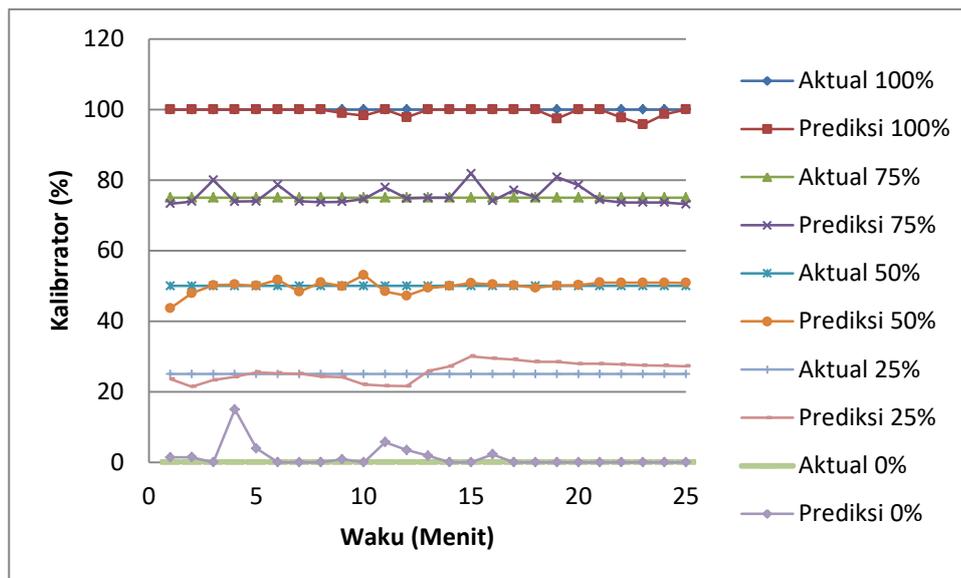
sudah sesuai model matematika di uji pada Arduino untuk dibandingkan kembali dengan cara memasukkan model matematika ke Arduino dan dilihat hasilnya

Table 7. Nilai Perbandingan dari prediksi JST dengan persamaan

| Sensor 1 | Sensor 2 | Sensor 3 | Sensor 4 | Kemurnian | Prediksi JST | Prediksi persamaan | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------------|--------------------|---------|
| | | | | | | M. Excel | Arduino |
| 182 | 75 | 82 | 232 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 158 | 76 | 78 | 213 | 100 | 99,9999 | 99,99925 | 100 |
| 156 | 105 | 116 | 237 | 75 | 76,9648 | 73,65730 | 73,66 |
| 160 | 102 | 114 | 260 | 75 | 73,6568 | 73,6567 | 73,66 |
| 102 | 46 | 88 | 163 | 50 | 50,9039 | 50,90523 | 50,90 |
| 102 | 55 | 88 | 156 | 50 | 49,0701 | 43,71320 | 43,71 |
| 166 | 72 | 100 | 199 | 25 | 25,3326 | 25,82613 | 25,83 |
| 127 | 77 | 103 | 179 | 25 | 22,8914 | 25,83110 | 25,83 |
| 126 | 59 | 97 | 197 | 0 | 0,00179 | 0,004400 | 0,00 |
| 202 | 81 | 91 | 259 | 0 | 8,82014 | 0,006439 | 0,01 |

4.5 Hubungan Antara Kestabilan Nilai Aktual dan Prediksi Kemurnian Bubuk Kopi

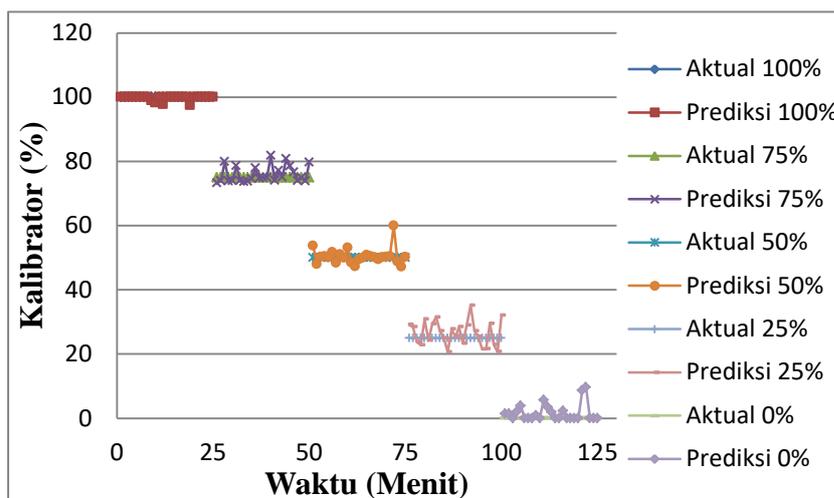
Hubungan antara kestabilan nilai aktual dan prediksi kemurnian bubuk kopi yang dihasilkan oleh JST akan memiliki nilai yang selaras dan tidak jauh berbeda, dibuktikan pada grafik berikut :



Gambar 29. Grafik Hubungan Nilai Aktual dan Prediksi Kemurnian Bubuk Kopi

Pada Gambar 29 di atas dapat dilihat bahwa nilai aktual merupakan garis yang stabil secara horizontal sedangkan nilai prediksi merupakan garis yang memiliki data naik turun mengikuti garis aktual. Pada setiap perpindahan waktu akan menghasilkan nilai prediksi yang berbeda-beda. Pada grafik di atas rata-rata nilai prediksi dari menit 0 sampai 25 mengalami penurunan, ketidakstabilan nilai prediksi dengan nilai aktual disebabkan oleh data yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian memiliki variasi yang tinggi atau tidak terduga.

Datatersebut dihasilkan dari nilai ADC yang diperoleh dari tiap-tiap sensor yang dimana pada saat mendeteksi aroma bubuk kopi sensor mengalami *noise* sehingga nilai ADC yang diperoleh menjadi tidak stabil. Pada menit pertama rata-rata nilai prediksi mengalami kenaikan kemudian pada menit ke 20 hingga 25 mengalami penurunan, dan titik kestabilan diperoleh pada menit ke 20 dimana nilai prediksi mencapai keseimbangan dengan nilai aktual kemurnian bubuk kopi.



Gambar 30. Grafik Stabilitas Nilai Prediksi dan Aktual Kemurnian Kopi

Gambar di atas menunjukkan grafik stabilitas antara nilai prediksi dan aktual kemurnian kopi. Kemurnian kopi diukur menggunakan sensor selama 25 menit dan kemudian diuji lanjut menggunakan JST sehingga diperoleh masing-masing nilai prediksi. Pada Kemurnian 100% sampai dengan 0% hasil prediksi yang didapatkan tidak jauh berbeda bahkan hampir setara dengan nilai aktual kemurnian kopi, hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat mendeteksi tingkat kemurnian kopi dengan cukup baik. Namun di dalam grafik tersebut adanya kenaikan hingga penurunan nilai prediksi, ini terjadi karena nilai ADC kemurnian kopi yang diperoleh dari sensor mengalami kejenuhan, nilai ADC yang didapatkan tidak selalu stabil dikarenakan faktor udara dalam kotak *chamber* berubah-ubah sehingga sensor mengalami noise yang menyebabkan nilai ADC menjadi tidak konsisten.

4.6 Analisis of Variance (ANOVA)

Data yang diperoleh secara *statistik* dengan menggunakan uji Analisis of Variant (ANOVA) dua arah pada taraf $\alpha = 5\%$ dengan menggunakan aplikasi SAS (*Statistical Analysis Software*). Hasil uji anova yang signifikan berbeda akan dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan taraf $\alpha = 5\%$. Berikut merupakan tabel ANOVA antar sensor dan kemurnian.

Tabel 7. ANOVA Sensor MQ-136 Dengan Taraf $\alpha = 5\%$

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------------|--------------------------|------|-------------|-----------|------|
| Corrected Model | 3967849,349 ^a | 19 | 208834,176 | 328,358 | ,000 |
| Intercept | 24950149,29 | 1 | 24950149,29 | 39230,071 | ,000 |
| Kemurnian | 193997,916 | 4 | 48499,479 | 76,258 | ,000 |
| Sensor | 3699486,901 | 3 | 1233162,300 | 1938,948 | ,000 |
| Kemurnian * Sensor | 74364,532 | 12 | 6197,044 | 9,744 | ,000 |
| Error | 941273,360 | 1480 | 635,996 | | |
| Total | 29859272,00 | 1500 | | | |
| Corrected Total | 4909122,709 | 1499 | | | |

a. R Squared = ,808 (Adjusted R Squared = ,806)

Hasil uji Anova menunjukkan bahwa nilai sig = 0,000 lebih kecil dari pada p (0,05) yang berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara kemurnian dengan nilai ADC sensor. P-Value untuk kemurnian 0,000 yang mana kurang dari 0,05, maka kemurnian berpengaruh. P-Value interaksi antara kemurnian dan sensor senilai 0,000 sehingga menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara kemurnian dan sensor terhadap nilai ADC. Hasil uji ANOVA (Tabel 7) menunjukkan P-Value kurang dari 0,05 maka untuk kemurnian, sensor, dan interaksi antara kemurnian dan sensor kurang dari 0,05 sehingga analisis dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) yang disajikan pada Tabel 8 untuk melihat pengaruh yang lebih nyata.

Tabel 8. Hasil Uji BNT Faktor Kemurnian Terhadap Nilai Adc

| (I) Kemurnian n | (J) Kemurnian kemurnian n 100 | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|-----------------------|--|-----------------------------|------------|------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| | | -14,8967* | 2,05912 | ,000 | -18,9358 | -10,8576 |

| | | | | | | |
|-----------------|------------------|-----------|---------|------|----------|----------|
| | kemurnian 50 | 20,4533* | 2,05912 | ,000 | 16,4142 | 24,4924 |
| | kemurnian 25 | -2,4200 | 2,05912 | ,240 | -6,4591 | 1,6191 |
| | kemurnian 0 | -1,1567 | 2,05912 | ,574 | -5,1958 | 2,8824 |
| kemurnian 75 | kemurnian 100 | 14,8967* | 2,05912 | ,000 | 10,8576 | 18,9358 |
| | kemurnian 50 | 35,3500* | 2,05912 | ,000 | 31,3109 | 39,3891 |
| | kemurnian 25 | 12,4767* | 2,05912 | ,000 | 8,4376 | 16,5158 |
| | kemurnian 0 | 13,7400* | 2,05912 | ,000 | 9,7009 | 17,7791 |
| kemurnian 50 | kemurnian 100 | -20,4533* | 2,05912 | ,000 | -24,4924 | -16,4142 |
| | kemurnian 75 | -35,3500* | 2,05912 | ,000 | -39,3891 | -31,3109 |
| | kemurnian 25 | -22,8733* | 2,05912 | ,000 | -26,9124 | -18,8342 |
| | kemurnian 0 | -21,6100* | 2,05912 | ,000 | -25,6491 | -17,5709 |
| kemurnian 25 | kemurnian 100 | 2,4200 | 2,05912 | ,240 | -1,6191 | 6,4591 |
| | kemurnian 75 | -12,4767* | 2,05912 | ,000 | -16,5158 | -8,4376 |
| | kemurnian 50 | 22,8733* | 2,05912 | ,000 | 18,8342 | 26,9124 |
| | kemurnian 0 | 1,2633 | 2,05912 | ,540 | -2,7758 | 5,3024 |
| kemurnian 0 | kemurnian 100 | 1,1567 | 2,05912 | ,574 | -2,8824 | 5,1958 |
| | kemurnian 75 | -13,7400* | 2,05912 | ,000 | -17,7791 | -9,7009 |
| | kemurnian 50 | 21,6100* | 2,05912 | ,000 | 17,5709 | 25,6491 |
| | kemurnian 25 | -1,2633 | 2,05912 | ,540 | -5,3024 | 2,7758 |

Berdasarkan tabel uji BNT diatas, kemurnian bubuk kopi 100% berbeda nyata dengan kemurnian 75% dan 50%, tapi tidak berbeda nyata dengan kemurnian 25% dan 0%. Kemurnian 75% berbeda nyata dengan kemurnian 75%, 50%, 25%, dan 0%. Kemurnian 50% juga berbeda nyata dengan kemurnian yang lain. Kemurnian 25% berbeda nyata dengan kemurnian 75% dan 50% tetapi tidak berbeda nyata dengan kemurnian 0% dan 100%. Dan kemurnian 0% tidak berbeda nyata dengan kemurnian 100% dan 25% tapi berbeda nyata dengan kemurnian 75% dan 25.

4.7 Validasi Data

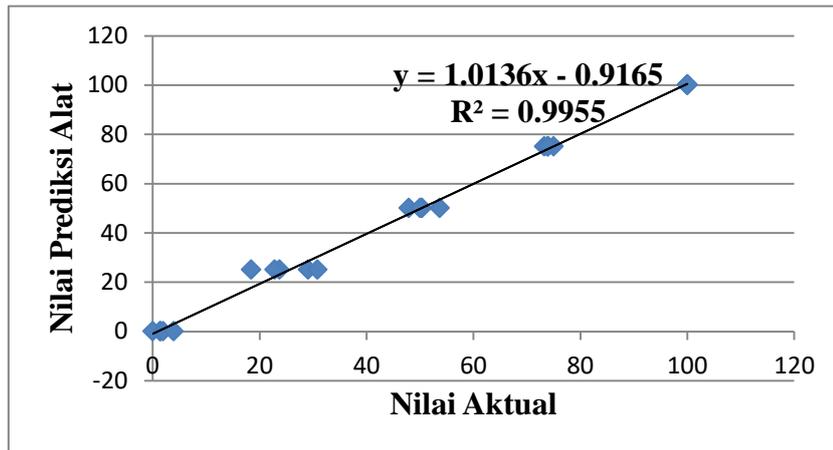
Validasi pengintegrasian dilakukan untuk mencari uji *koefisien determinasi* (R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), serta nilai *Relative Root Mean Square Error* (RRMSE) dari rancangan alat. Pada tahap integrasi ini dilakukan dengan memberikan pola data yang belum pernah digunakan pada proses pelatihan dan pengujian model. Dari data yang belum pernah digunakan pada pengembangan model tersebut diuji cobakan dengan menggunakan model yang telah dihasilkan oleh jaringan saraf tiruan. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan JST yang telah dibuat. Data prediksi dengan data aktual diperoleh dari perhitungan menggunakan data validasi.

Perhitungan nilai *koefisien determinasi* (R^2) didapatkan dari perhitungan menggunakan bantuan *Microsoft excel* dengan grafik *scatter*. Dari nilai yang akan didapatkan ini menunjukkan bahwa kinerja model akurat untuk memprediksi kemurnian kopi. Selanjutnya proses pencarian *Root Mean Square Error* (RMSE) dilakukan untuk mengetahui hasil pengujian sesuai estimasi atau tidak. Setelah dilakukan perhitungan kemudian didapatkan nilai RMSE. Nilai tersebut dibandingkan dengan nilai RMSE pada proses pengembangan model jaringan saraf tiruan memiliki nilai yang berbeda. Semakin besarnya nilai RMSE yang memiliki arti bahwa hasil estimasi model yang dihasilkan semakin tidak tepat bila dibandingkan dengan hasil pengamatan. Dari hasil yang akan didapatkan nilai RMSE pada alat akan menunjukkan bahwa nilai dari model

prediksi JST sudah tepat ketika pada saat dibandingkan dengan nilai *output* observasi.

Tabel 9. Nilai Validasi Data

| No | Nilai Aktual | Nilai Prediksi |
|-----|--------------|----------------|
| 1. | 100 | 100 |
| 2. | 100 | 100 |
| 3. | 100 | 100 |
| 4. | 100 | 100 |
| 5. | 100 | 100 |
| 6. | 73.26794363 | 75 |
| 7. | 73.92969128 | 75 |
| 8. | 74.96982197 | 75 |
| 9. | 73.86651834 | 75 |
| 10. | 73.95640671 | 75 |
| 11. | 53.67123175 | 50 |
| 12. | 47.9002162 | 50 |
| 13. | 50.18817511 | 50 |
| 14. | 50.37821637 | 50 |
| 15. | 50.04721678 | 50 |
| 16. | 29.11019596 | 25 |
| 17. | 18.42198043 | 25 |
| 18. | 23.75016401 | 25 |
| 19. | 22.82077717 | 25 |
| 20. | 30.81132689 | 25 |
| 21. | 1.403655306 | 0 |
| 22. | 1.435556108 | 0 |
| 23. | 0.001797891 | 0 |
| 24. | 1.951270257 | 0 |
| 25. | 3.927581574 | 0 |



Perhitungan nilai RMSE dan nilai RRMSE dilakukan untuk dapat mengetahui nilai hasil dari uji integrasi model matematika Jaringan Saraf Tiruan ke dalam mikrokontroler.

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus didapatkan nilai RMSE sebesar 2,7212, nilai *Koefisien* determinasi sebesar 0,9955 dan RRMSE sebesar 5,0116%. Jika nilai RMSE mendekati 0 maka ini dapat menunjukkan hasil yang diprediksi model semakin akurat. Maka pada penelitian ini nilai RMSE dan RRMSE sudah cukup baik dan sesuai dengan kriteria, ini juga menunjukkan bahwa model prediksi dari Jaringan Saraf Tiruan ini pada alat sudah tepat dan cukup baik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan yang telah dijabarkan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan pada penelitian ini menggunakan metode *backpropagation* dengan 4 *input* (sensor MQ 136, TGS 822, TGS 2600, dan TGS 822), dua *hidden layer* node 6-6-1, keluaran berupa 1 *output* (kemurnian kopi). Learning rate 0,001, tipe pelatihan yaitu *tranlm* dan jumlah *epoch* 10000. Proses pelatihan Jaringan Saraf Tiruan menggunakan 27 variasi aktivasi *logsig*, *tansig*, dan *purelin*. Pada penelitian ini memberikan hasil identifikasi latih terbaik yaitu *logsig – tansig – logsig* dengan nilai RMSE 5,877334 dan nilai R^2 sebesar 0,9739. Sedangkan hasil identifikasi uji terbaik yaitu *logsig – tansig – logsig* dengan nilai RMSE 13,59786 dan nilai R^2 sebesar 0,8929. Alat ini memiliki nilai RRMSE sebesar 5,0116%.
2. Pengintegrasian JST ke dalam *mikrokontroller* menggunakan bantuan *software* Arduino. Perhitungan JST yang diperoleh dari nilai ADC aroma kopi dengan perhitungan rumus matematika yang telah diintegrasikan ke program arduino memiliki nilai yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan matematika dalam program arduino berjalan dengan baik.
3. Hasil pengukuran kemurnian campuran bubuk kopi arabika dan bubuk kopi luwak adalah sebagai berikut:
 - a. Kemurnian bubuk kopi luwak 0% didapatkan nilai ADC sebesar 219, sensor MQ-136, 97 sensor TGS 822, 104 sensor TGS 2600, serta 359 sensor TGS813.

- b. Kemurnian bubuk kopi luwak 25% didapatkan nilai ADC sebesar 166 sensor MQ-136, 80 sensor TGS 822, 124 sensor TGS 2600, serta 354 sensor TGS813.
 - c. Kemurnian bubuk kopi luwak 50% didapatkan nilai ADC sebesar 147 sensor MQ-136, 114 sensor TGS 822, 201 sensor TGS 2600, serta 271 sensor TGS813.
 - d. Kemurnian bubuk kopi luwak 75% didapatkan nilai ADC sebesar 180 sensor MQ-136, 113 sensor TGS 822, 130 sensor TGS 2600, serta 298 sensor TGS813.
 - e. Kemurnian bubuk kopi luwak 100% didapatkan nilai ADC sebesar 214 sensor MQ-136, 90 sensor TGS 822, 130 sensor TGS 2600, serta 327 sensor TGS813.
 - f. Perpindahan waktu menghasilkan nilai ADC yang berbeda-beda. Titik stabil didapatkan pada menit 20.
4. Hasil persentase kemurnian bubuk kopi pada campuran 100% memiliki prediksi ketepatan JST mencapai 98 %, pada campuran 75% memiliki prediksi kemurnian 75%, pada campuran 50% sebesar 64%, campuran 25 % sebesar 69%, dan campuran 0% sebesar 98% , maka dapat disimpulkan bahwa sensor *e-nose* mampu mendeteksi kemurnian bubuk kopi dengan akurasi sampai dengan 98% dalam waktu 0 sampai dengan 20 menit.

5.2 Saran

Dari hasil keakuratan nilai sensor yang telah didapat dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan lebih memperhatikan jenis sensor *elektronik nose* yang dapat lebih peka terhadap gas yang dikeluarkan bubuk kopi. Sehingga dapat dihasilkan perbandingan prediksi JST bubuk kopi dalam sensor yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriliana, A. 2018. *Teknologi Pengolahan Kopi Terkini*. CV Budi Utama Yogyakarta.
- Arwangga,dkk. 2016. Analisis Kandungan Kafein pada Kopi di Desa Sesaot Narmada menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Publikasi. Fakultas FMIPA*. Universitas Udayana. Bali. 10 (1) : 110-114.
- Badan Pusat Statistik. 2021. *Statistik Kopi Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta Pusat.
- Chen, S, dkk. 2013. *Aplication and technology of electronic nose for clinical diagnosis*. Open journal of applied biosensor.
- Dillak,dkk. 2012. *Penerapan Jaringan Saraf Tiruan Radial Basis Function*. Seminar Nasional Informatika 2012 (semnasIF 2012). c-115 - c-121.
- Figaro. 2004. *TGS 826-For the Detectionof Ammonia*. Figaro USA.
- Figaro. 2012. SK-25F technical info 1112. *Figaro Engineering Inc*. Osaka.
- F.Suhandi Krisna. 2009. Prediksi Harga Saham dengan Pendekatan *Artificial Neural Network* menggunakan Algoritma *Backpropagation*.
- Ghozali, I.2016. *Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program IBM SPSS 23*. Edisi 8. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.
- Hendri. 2012, Karakterisasi TiO₂ (CuO) dengan Metoda Keadaan Padat (Solid State Reaction) sebagai Sensor Gas CO₂, *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol. 1, No.1, hal. 25-29.
- Hermawan. Arief. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan, Teori dan Aplikasi*. Andi. Yogyakarta.

- Maramis,dkk. 2013. Analisis Kafein Dalam Kopi Bubuk Di Kota Manado Menggunakan Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Ilmiah Farmasi*. 2 (4) : 122-128.
- Matondang, dkk. 2013. Validitas Dan Reliabilitas Suatu Instrumen Penelitian. *Jurnal Tabularasa PPS UNIMED*.6 (1), 87-97.
- Maulidan, dkk. 2018. Insomnia Dan Kecemasan Pada Masyarakat Yang Mengkonsumsi Kopi. *JIM FKPEP*, 3(3), 241-247.
- Mulato, dkk. 2012. *Kopi, Seduhan dan Kesehatan*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember.
- Najiyati, dkk. 2012. *Kopi, Budidaya dan Penanganan Lepas Panen*. Penebar Swadaya. Yogyakarta.
- Nugroho, dkk. 2007. *Laporan Hasil Penelitian Perancangan “Hidung Elektronik” Untuk Penentuan Kualitas Aroma Teh Dengan Menggunakan Sistem Jaringan Saraf*. FTP UGM. Yogyakarta.
- Putra, dkk. 2016. *Identifikasi aroma dengan e-nose menggunakan metode backpropagation*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Jakarta.
- Rabersyah, dkk. 2016. Identifikasi Jenis Bubuk Kopi Menggunakan Electronic Nose Dengan Metode Pembelajaran *Backpropagation*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 332-338.
- Rahardjo P. 2012. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Penerbar Swadaya. Jakarta.
- Rahardjo, P. 2017. *Berkebun Kopi*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- T. Sutojo,dkk. 2010. *Kecerdasan Buatan*. Penerbit Andi. Semarang.