ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

Implementation of Artificial Neural Network on Smart Electronic Nose for Pork Meat Detection

Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan pada Hidung Elektronik Cerdas untuk Deteksi Daging Babi

MS Hendriyawan A[1], Baby Aries[2]

[1,2] Program Studi Teknik Elektro, Universitas Teknologi Yogyakarta, Indonesia

[1*]hendriyawanachmad@uty.ac.id, [2]babyaries630@gmail.com
**: Penulis korenspondensi* (*corresponding author*)

Informasi Artikel
Received: 24 August 2021
Revised: 30 August 2021
Accepted: 24 September 2021
Published: 31 October 2021

Abstract

The level of beef consumption in Indonesia continues to rise from year to year, as can be seen from market demand that continues to increase, especially during big holidays and holidays. However, the increasing market demand for beef is still often exploited by irresponsible people who mix beef with pork. Based on these facts, an electronic nose system was created which can distinguish between pure beef and beef mixed with pork based on the characteristics of the aroma. The electronic nose applies a backpropagation artificial neural network (ANN), which is trained by using the MATLAB application to recognize the pattern of the aroma of meat samples captured by a series of gas sensors TGS2602, TGS2620, TGS2610 and TGS2611, then classify them into two classes, namely PURE and MIXED. There were four kinds of fresh meat samples used for testing: pure beef, 25%, 50% and 75% mixed meat with 30 samples consisting of 15 pure samples and 15 mixed samples. The accuracy, precision, sensitivity and specificity values are 100% using a confusion matrix during the experiments.

Keywords: Pork Meat; Electronic Nose; Artificial Neural Network; MATLAB
Kata kunci: Daging Babi; Hidung Elektronik; Jaringan Syaraf Tiruan; MATLAB

Abstrak

Tingkat komsumsi daging sapi di Indonesia terus naik dari tahun ke tahun terlihat dari permintaan pasar yang terus meningkat terutama pada perayaan hari besar dan hari raya. Akan tetapi peningkatan permintaan pasar akan daging sapi masih kerap dimanfaatkan oleh oknum tak bertanggung jawab yang mencampur daging sapi dengan daging babi. berdasarkan fakta tersebut maka dibuat sebuah sistem *electronic nose* yang dapat membedakan antara daging sapi murni dengan daging sapi bercampur babi berdasarkan karakteristik aroma. Alat ini menerapkan jaringan syaraf

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

tiruan (JST) backpropagation yang dilatih menggunakan aplikasi MATLAB untuk mengenali pola dari aroma sampel daging yang ditangkap menggunakan rangkaian sensor gas TGS2602, TGS2620, TGS2610 dan TGS2611, kemudian mengklasifikasikannya dalam dua kelas yaitu MURNI dan CAMPURAN. Sampel daging segar yang digunakan untuk pengujian ada 4 macam yaitu daging sapi murni, daging campuran 25%, 50% dan 75% dengan total sampel sebanyak 30 terdiri dari 15 sampel murni dan 15 sampel campuran. Dari pengujian tersebut didapat nilai akurasi, presisi, sensitivity dan specificity sebesar 100% menggunakan *confusion matrix.*

1. Pendahuluan

Tingkat konsumsi daging sapi di Indonesia terus naik dari tahun ke tahun terlihat dari permintaan pasar yang terus meningkat terutama pada perayaan hari besar dan hari raya [1]. Akan tetapi peningkatan permintaan pasar akan daging sapi masih kerap dimanfaatkan oleh oknum tak bertanggung jawab yang mencampur daging sapi dengan daging babi.

Daging sapi dan daging babi dapat dibedakan berdasarkan beberapa karakteristik antara lain: warna, tekstur, serat dan aroma daging [2]. Terdapat beberapa metode ilmiah yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi campuran daging dengan sensitivitas dan akurasi tinggi misalnya seperti metode *Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy* (NMR), *Gas Chromatography* (GC), *Mass Spectrometer* (MS), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Namun metode-metode tersebut memiliki beberapa kekurangan seperti peralatan laboratorium yang dibutuhkan cukup mahal dan hanya dapat dilakukan oleh tenaga ahli profesional [3].

Fakta-fakta tersebut menjadi dasar bagi peneliti untuk mengembangkan sebuah perangkat hidung elektronik (*electronic nose*) untuk membedakan daging sapi murni dan daging sapi bercampur babi berdasarkan karakteristik aroma. Alat ini menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) yang dibuat dan dilatih pada aplikasi MATLAB untuk melakukan klasifikasi terhadap data sampel daging sehingga dapat diketahui mana sampel daging sapi yang mengandung daging babi dan mana yang murni.

Pada penelitian ini sampel daging yang diuji adalah daging sapi dan daging babi yang masih segar dan tidak berumur lebih dari setengah hari sejak dibeli dari pedagang. Sampel yang diuji terdiri dari 4 macam yaitu daging sapi tanpa campuran babi dan daging sapi mengandung babi 25%, 50% dan 75%. Identifikasi kandungan daging babi pada sampel daging sapi hanya dilakukan berdasarkan karakteristik aroma/odor yang diperoleh dari rangkaian sensor gas dan tidak menggunakan karakteristik lain seperti warna, tekstur atau serat dari daging. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa penerapkan jaringan syaraf tiruan backpropagation pada sistem electronic nose berbasis arduino dapat mengklasifikasi sampel daging sapi murni dan daging campuran yang diuji dengan tingkat akurasi > 80% berdasarkan karakteristik aroma/odor.

1.1. Senyawa Volatil Daging

Daging terdiri dari air, protein, asam amino, mineral, lemak, asam lemak, vitamin dan komponen bioaktif lainnya serta sedikit karbohidrat [4]. Beberapa faktor yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu jenis daging antara lain aroma, warna, tekstur, dan rasa. Aroma daging itu sendiri ditentukan oleh banyaknya kandungan Volatile Organic Compound (VOC) yang terdapat di dalamnya [5]. karakteristik aroma daging ditentukan oleh Reaksi gula dan asam amino, serta oksidasi dan degradasi lipid dan thiamin. Senyawa volatil yang dihasilkan oleh reaksi-reaksi tersebut diantaranya: alkohol, hidrokarbon, keton, aldehida dan senyawa nitrogen atau sulfur [6]. Komposisi senyawa volatil pada daging dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain: ras dan jenis kelamin, makanan dan umur hewan, kondisi dan proses penyembelihan, durasi dan kondisi penyimpanan daging, serta bagian otot dan pemrosesan [6]. Selain itu senyawa volatil juga terbentuk pasca penyembelihan akibat aktivitas enzim [7].

1.2. Hidung Elektronik (*Electronic Nose*)

Electronic nose (e-nose) adalah rangkaian sensor gas yang memberikan respon ciri terhadap volatil tertentu, yang kemudian dapat digunakan oleh algoritma pengenalan pola, seperti jaringan saraf tiruan (JST), untuk melakukan diskriminasi dan klasifikasi [8]. Prinsip utama electronic nose adalah meniru indera penciuman manusia [9]. E-nose terdiri dari berbagai jenis sensor array yang masing-masing responsif terhadap jenis gas tertentu, konverter sensor-sinyal, dan perangkat lunak untuk analisis [10]. Teknologi electronic nose didasarkan pada absorbsi dan desorbsi bahan-bahan kimia volatil menjadi sebuah matriks sensor. Elemen sensor mendeteksi perubahan resistansi listrik ketika berinteraksi dengan gas atau aroma yang bervariasi. Keluaran Electronic Nose dapat berupa pola-pola yang mewakili masing-masing aroma sehingga dapat diterapkan untuk aplikasi identifikasi, perbandingan, kuantifikasi dan klasifikasi berdasarkan aroma [11]. Terdapat beberapa jenis sensor gas yang biasa digunakan untuk electronic nose antara lain conducting polymers (CP), metal oxide semiconductor (MOS), quartz crystal microbalance (QCM) dan sensor surface acoustic wave (SAW) [12]. karena keandalan, kecepatan dan rendah biaya, konsep electronic nose menjadi populer di bidang pertanian, industri makanan dan air, obat-obatan, sistem keamanan, dan banyak area lainnya [13].

1.3. Sensor Gas Jenis Metal Oxide Semiconductor (MOS)

MOS adalah sensor yang paling banyak digunakan untuk e-nose, sensor gas MOS terbuat dari oksida logam atau semi-konduktor termasuk, *tin dioxides*, *zinc oxides, iron oxides*, *titanium dioxide*, *nickel oxide*, *cobalt oxide* [14]. Sensor gas MOS dibuat pertama kali pada 1960 oleh Taguchi dari bahan lapisan tebal SnO2. Kode TGS pada tipe gas sensor memiliki arti Taguchi Gas Sensor [15]. Karena ketersediaannya yang luas, sensor gas MOS banyak digunakan peneliti sebagai komponen utama dari e-nose [16]. Beberapa senyawa volatil yang dapat dideteksi oleh sensor MOS termasuk alkohol, (misalnya, etanol dan 1-Heksanol), asam organik (misalnya, asam asetat dan asam butirat), sulfida, alkana, ester, aldehida (misalnya, benzaldehida dan nonanal) dan keton (misalnya, aseton, butanon, dan propil dekanoat) [17]. Cara kerja sensor gas MOS adalah apabila sensor terpapar oleh gas tertentu maka pada permukaan tin dioxide terjadi reaksi oksidasi antara gas tersebut dengan oksigen. Reaksi ini selanjutnya menyebabkan kerapatan dari oksigen pada permukaan tin dioxide akan berkurang sehingga potential barrier

ikut berkurang dan resistansi sensor akan menurun. Dengan begitu arus listrik akan mengalir [5].

1.4. Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Jaringan syaraf tiruan (JST) atau yang disebut juga artificial neural network adalah sebuah model komputasi yang merepresentasikan otak manusia dalam mensimulasikan proses pembelajaran [18]. Sistem komputasi, arsitektur dan operasi dari Jaringan Syaraf Tiruan terinspirasi dari sel syaraf dalam otak manusia. jaringan syaraf tiruan memiliki beberapa elemen pengolahan (neuron) yang saling terhubung. Neuron-neuron tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima menuju neuron lainnya [19]. Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan pada keperluan seperti pengenalan pola, peramalan atau prediksi, deteksi kemiripan, klasifikasi serta clustering [20].

Arsitektur jaringan syaraf tiruan bisa dilihat berdasarkan jumlah lapisan (layer) dan jumlah node pada setiap lapisan tersebut [21]. Lapisan-lapisan yang menyusun jaringan syaraf tiruan secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Lapisan Masukan (*Input Layer*), yaitu terdiri dari neuron-neuron yang menerima data masukan dari luar [22].
2. Lapisan Tersembunyi (*Hidden Layer*), yaitu lapisan yang terdiri dari unit-unit (neuron) tersembunyi diantara input layer dan output layer. Hidden layer dapat meningkatkan kemampuan jaringan dalam pengenalan pola [23].
3. Lapisan Keluaran (*Output Layer*), yaitu merupakan hasil akhir pemrosesan input dan bobot-bobot dari neuron hidden layer yang terhubung dengannya [24].

Karakteristik jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh beberapa elemen seperti arsitektur jaringan, bobot yang didapat dari training dan fungsi aktivasi [25].

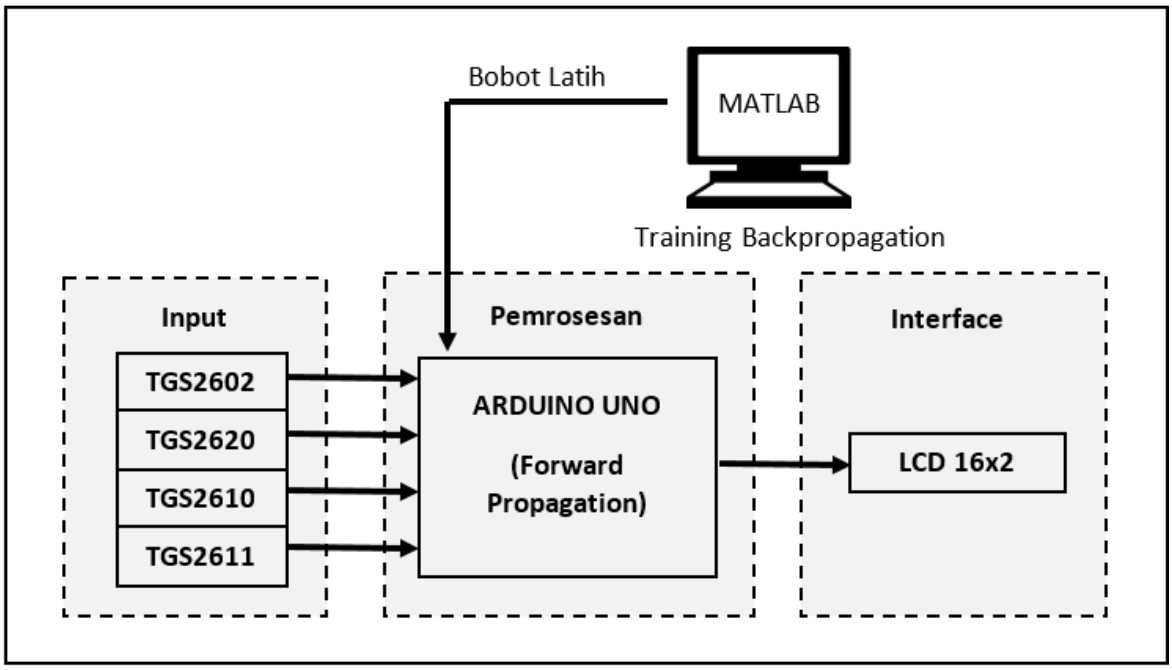
2. Metode/Perancangan

2.1. Blok Diagram

Pada **Gambar 1** diperlihatkan rancangan sistem e-nose yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu bagian input, pemrosesan dan *user interface*. Bagian input terdiri dari empat sensor gas yaitu TGS2602, TGS2620, TGS2610, dan TGS2611 yang berperan untuk menangkap aroma sampel daging. Keempat sensor tersebut dihubungkan ke pin analog arduino uno melalui pin A0, A1, A2 dan A3.

Pada bagian pemrosesan sinyal yang diterima dari keempat sensor tersebut kemudian diproses oleh arduino Uno untuk melakukan klasifikasi terhadap sampel daging menggunakan program JST yang telah dilatih dengan metode backpropagation. Setelah itu hasil dari klasifikasi akan ditampilkan pada LCD 16x2 sebagai bagian interface yang terhubung ke arduino uno secara serial melalui pin SDA dan SCL. Jika hasilnya adalah daging sapi murni maka LCD menampilkan “MURNI” dan Jika hasilnya adalah daging sapi mengandung babi maka LCD menampilkan “CAMPURAN”.

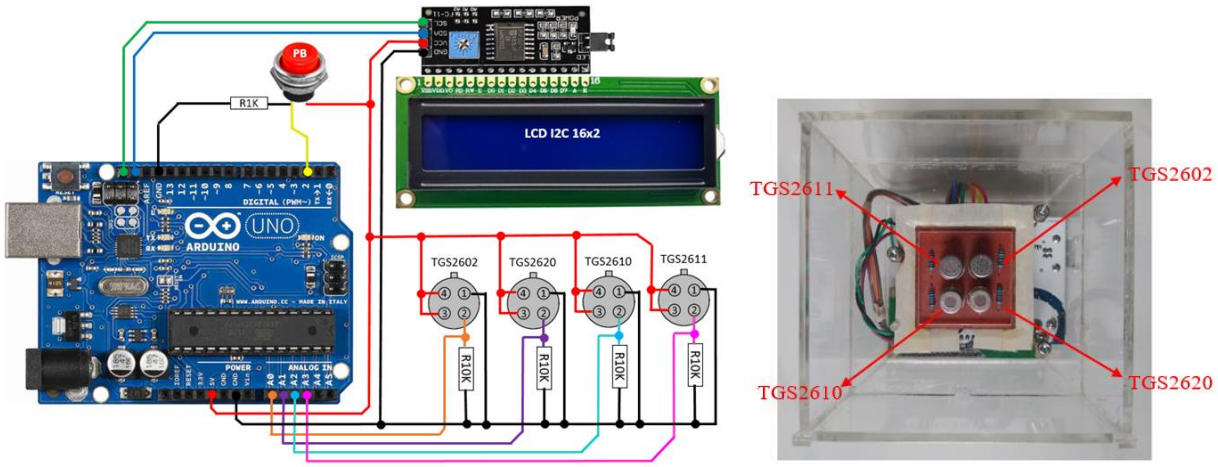
ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185



Gambar 1. Diagram alir kerja sistem yang diusulkan

2.2. Perancangan Sistem Elektronik

Rancangan elektronik menunjukkan detail komponen pada purwarupa serta wiring diagram yang menghubungkan setiap komponen tersebut antara lain Arduino Uno yang berperan sebagai unit pemrosesan dengan IC Atmega328 sebagai prosesornya. **Gambar 2** menunjukkan rancangan sistem elektronik e-nose pada penelitian ini.



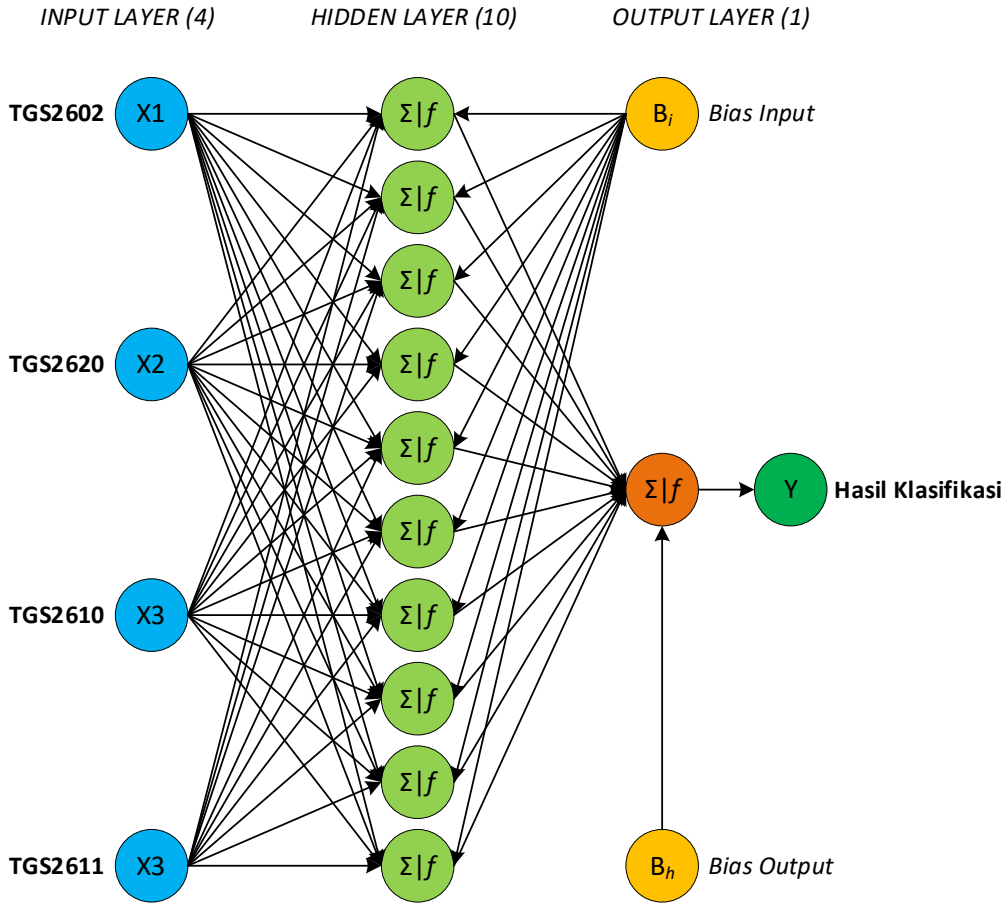
Gambar 2. Rancangan sistem elektronik e-nose

Keempat sensor gas dihubungkan ke arduino Uno melalui pin analog yaitu pin A0 untuk TGS2602, pin A1 untuk TGS2620, pin A2 untuk TGS2610, dan pin A3 untuk TGS2611 seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2**. Sedangkan antarmuka pengendali utama dengan piranti penampil *Liquid Crystal Display* (LCD) menggunakan komunikasi *Inter Integrated Circuit* (I2C) yaitu melalui pin SDA dan SCL.

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

2.3. Rancangan Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Arsitektur jaringan syaraf tiruan terdiri dari tiga bagian, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan lapisan keluaran (*output layer*), seperti ditunjukkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3. Arsitektur jaringan syaraf tiruan

Lapisan masukan terdiri dari 4 neuron yang akan menampung keluaran digital dari empat sensor, lapisan tersembunyi terdiri dari 10 neuron yang akan menampung penjumlahan dari seluruh hasil perkalian input neuron dengan bobot jaringan masukannya beserta biasnya, sedangkan lapisan output akan menampung seluruh hasil perkalian hidden neuron dengan bobot jaringan keluarannya beserta biasnya. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan tersembunyi adalah jenis *hyperbolic tangent sigmoid* (tansig) seperti dinyatakan oleh **Persamaan 1**, dan pada lapisan keluaran menggunakan jenis *logistic sigmoid* (logsig) seperti dinyatakan oleh **Persamaan 2**.

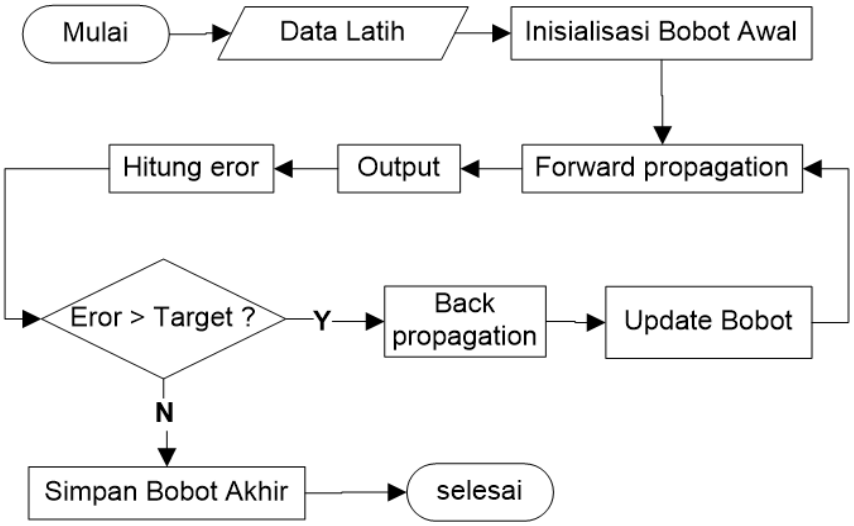
$$tansig(x) = \frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} \quad (1)$$

$$logsig(x) = \frac{e^{x}}{e^{x}+1} \quad (2)$$

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

2.4. Tahapan Pelatihan

Proses pelatihan dimulai dari tahap input data latih yang didapat dari empat sensor yaitu TGS2602, TGS2620, TGS2610, dan TGS2611 seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4**.



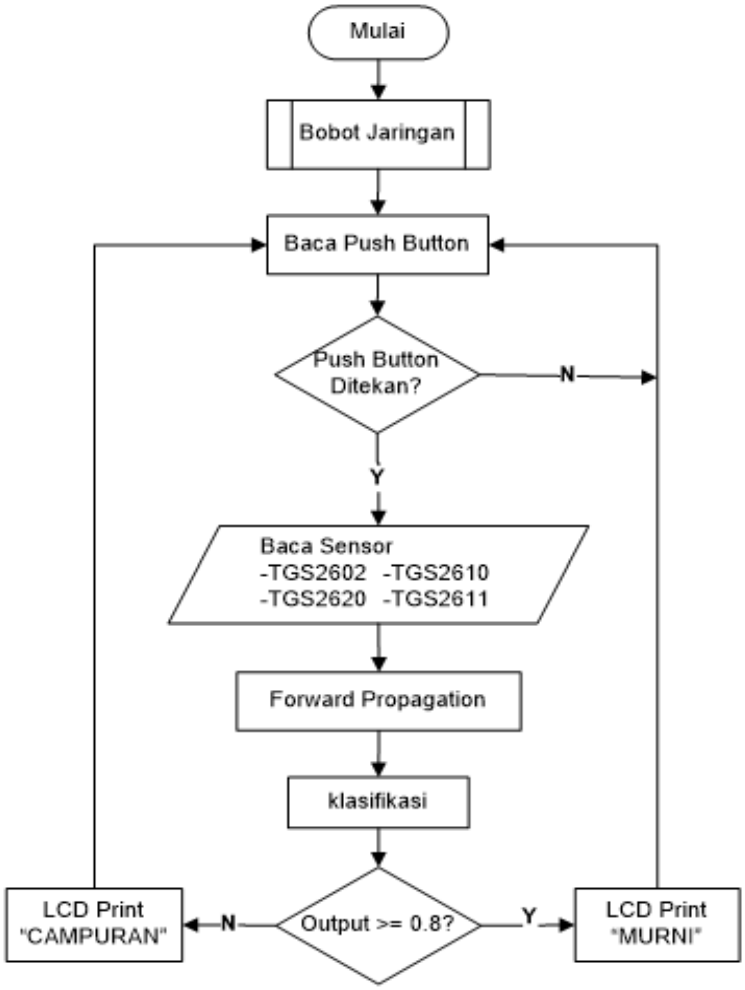
Gambar 4. Tahapan pelatihan sistem

Data yang didapat dari rangkaian sensor digunakan sebagai masukan *input layer*, lalu dilakukan inisialisasi bobot awal. Kemudian masuk pada tahap *forward propagation* dimana dalam proses ini data dari *input layer* diteruskan ke *hidden layer* hingga ke *output layer*. Pada *output layer*, dihitung nilai *error* untuk selanjutnya dilakukan klasifikasi. Jika nilai *error* lebih besar dari target maka data akan diproses kembali melalui tahap *backpropagation*. Ini dilakukan untuk meminimalkan nilai *error*. Kemudian dilakukan update bobot untuk menggantikan bobot awal dan selanjutnya kembali ke tahap *forward propagation*. Proses ini akan terus diulang hingga nilai *error* sudah tidak melebihi target lalu bobot akhir akan disimpan. Dataset yang digunakan pada proses training backpropagation berjumlah 2.400 data yang dibagi menjadi 3 yaitu data training 70% (1.680 data), data validasi 15% (360 data) dan data testing 15% (360 data).

2.5. Tahapan Pengujian Klasifikasi

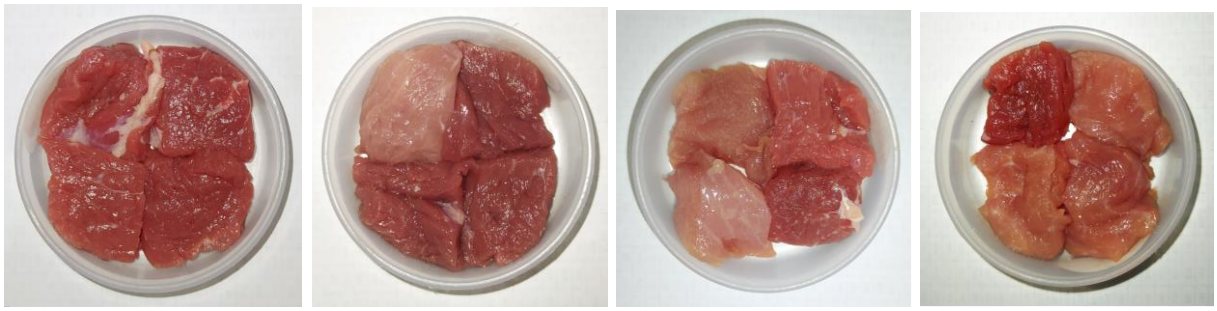
Seperti yang diperlihatkan oleh **Gambar 5**, program utama untuk klasifikasi menggunakan bobot jaringan yang didapat dari pelatihan jenis *backpropagation*. Alur perintah dimulai dengan pembacaan tombol mulai, dimana jika tombol ditekan (logika 1) maka pengendali mikro (Arduino Uno) akan membaca keluaran analog yang dikeluarkan oleh rangkaian sensor yaitu TGS2602, TGS2620, TGS2610, dan TGS2611. Keluaran analog akan diubah menjadi nilai digital secara internal menggunakan fasilitas *analog to digital converter* (ADC) yang mewakili aroma sampel daging. Kemudian arduino Uno menggunakan nilai ADC dari keempat sensor gas sebagai *input* dari jaringan syaraf tiruan (forward propagation) dengan bobot jaringan yang telah diperoleh dari tahap pelatihan sebelumnya, kemudian output jaringan diklasifikasi dalam dua kelas yaitu kelas 1 (murni) dan kelas 0 (campuran) dengan menggunakan nilai ambang = 0.8. Jika output klasifikasi lebih besar atau sama dengan 0,8 maka hasil klasifikasi = MURNI, dan jika outputnya kurang dari 0.8 maka hasil klasifikasi = CAMPURAN.

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185



Gambar 5. Tahapan proses klasifikasi

Pengujian purwarupa e-nose menggunakan empat jenis sampel daging seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 6**, yaitu: daging sapi murni 100%, daging sapi 75% dicampur daging babi 25%, daging sapi 50% dicampur daging babi 50%, dan daging sapi 25% dicampur daging babi 75%.



(a) (b) (c) (d)

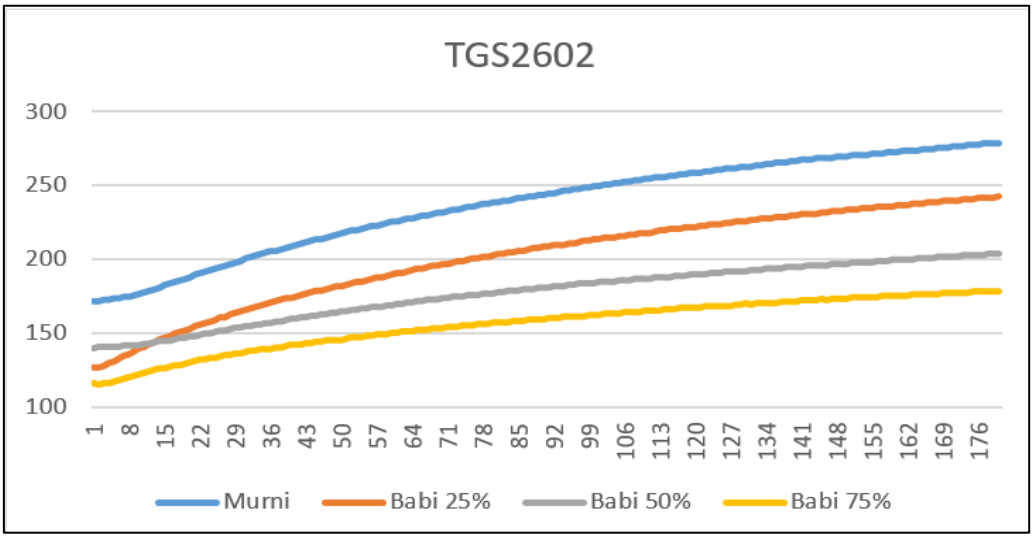
Gambar 6. Sampel uji e-nose. (a) Daging sapi murni 100%. (b) Campuran daging babi 25%. (c) Campuran daging babi 50%, (d) Campuran daging babi 75%.

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

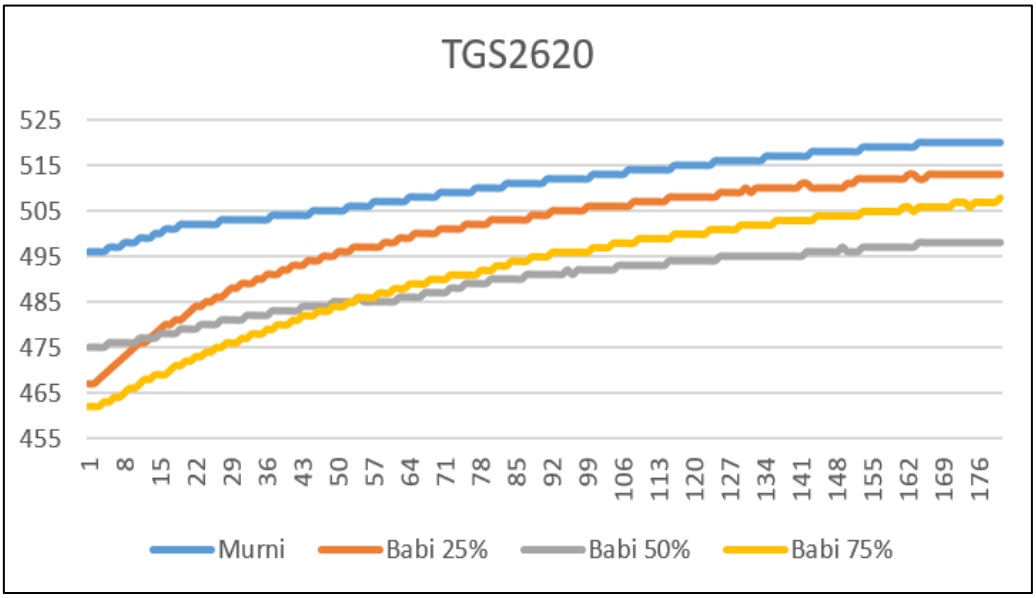
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Sensor

Penelitian ini menggunakan empat jenis sampel daging, yaitu: daging sapi murni, daging sapi yang dicampur daging babi 25%, daging sapi yang dicampur daging babi 50%, dan daging sapi yang dicampur daging babi 75%. Grafik yang ditunjukkan oleh **Gambar 7** – **10** mendeskripsikan respon sensor TGS2602, TGS2620, TGS2610 dan TGS2611 terhadap keempat jenis sampel tersebut. Garis biru untuk sampel daging sapi murni, garis jingga untuk daging campuran 25%, garis abu-abu untuk daging campuran 50% dan garis kuning untuk daging campuran 75%. Aksis X menunjukkan jumlah sampel dan aksis Y menunjukkan hasil pembacaan ADC terhadap keluaran sinyal analog sensor.

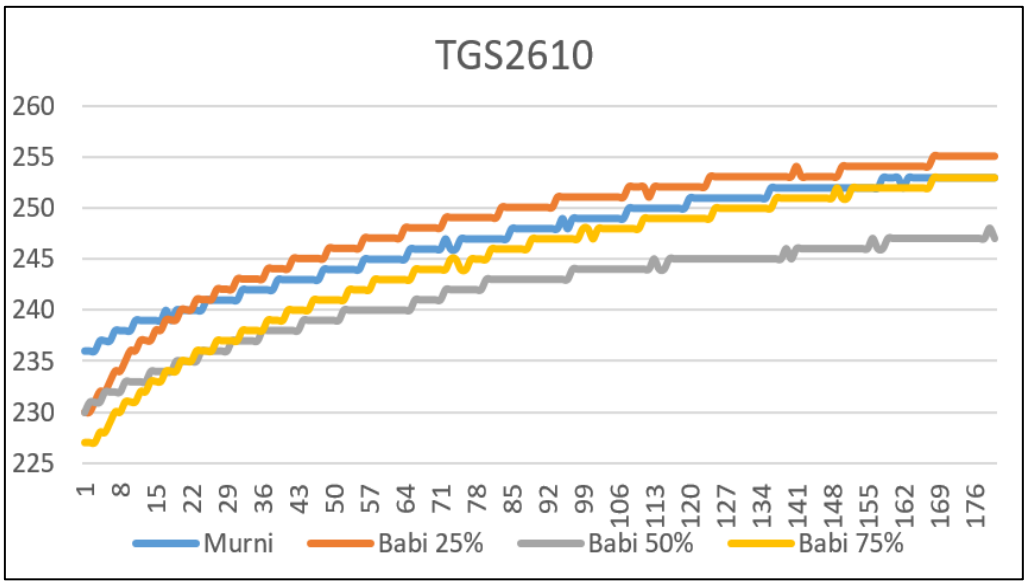


Gambar 7. Respon keluaran digital sensor TGS2602

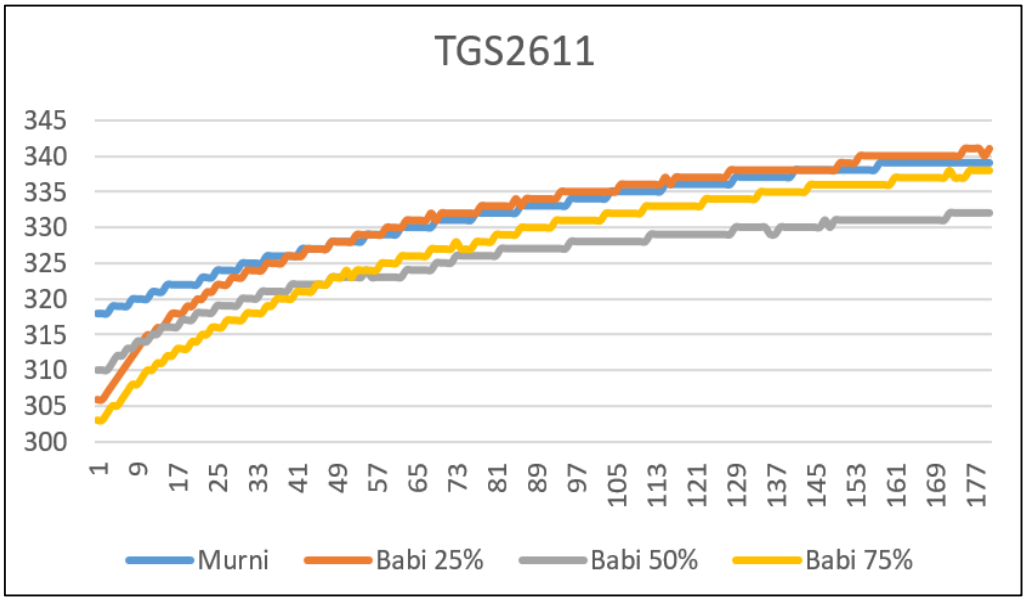


Gambar 8. Respon keluaran digital sensor TGS2620

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185



Gambar 9. Respon keluaran digital sensor TGS2610



Gambar 10. Respon keluaran digital sensor TGS2611

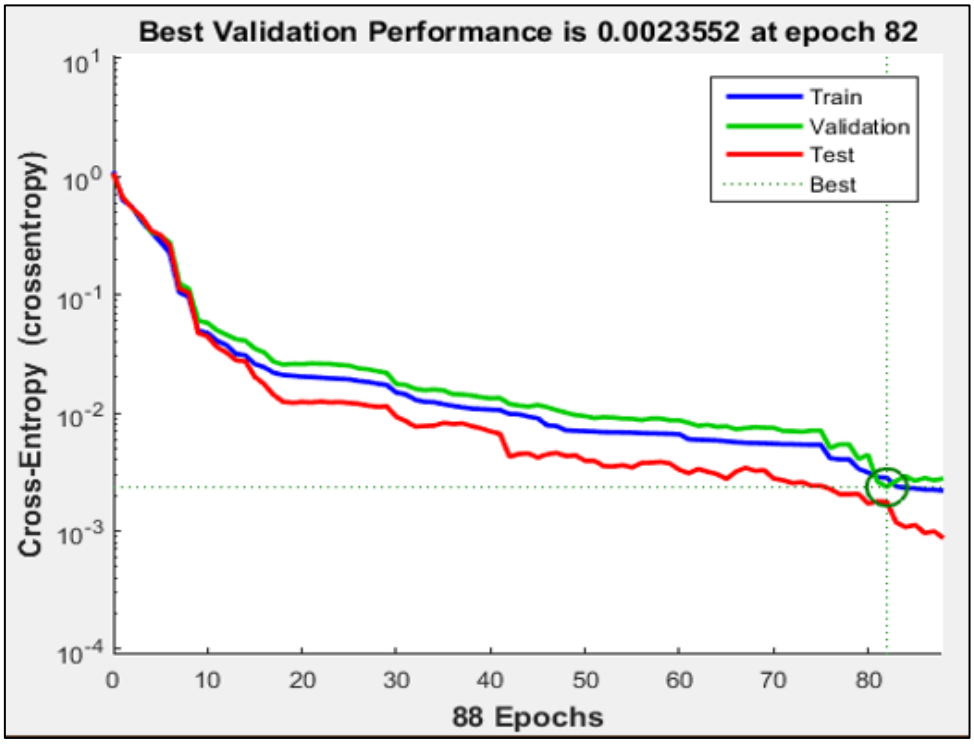
Berdasarkan hasil akuisisi data empat jenis sampel dari empat jenis sensor seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 7** – **10** terlihat bahwa semua sensor mengeluarkan nilai yang berbeda-beda baik dengan sesama sensor maupun berdasarkan jenis sampelnya. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis sensor pada penelitian ini sudah tepat karena sensor sudah menunjukkan ciri khas untuk setiap sampel ujinya.

3.2. Hasil Pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan

Proses pelatihan JST menggunakan metode perambatan mundur (*backpropagation*) dengan total sampel sebanyak 1.680 data atau sekitar 70% dari keseluruhan dataset. Hasil pelatihan

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

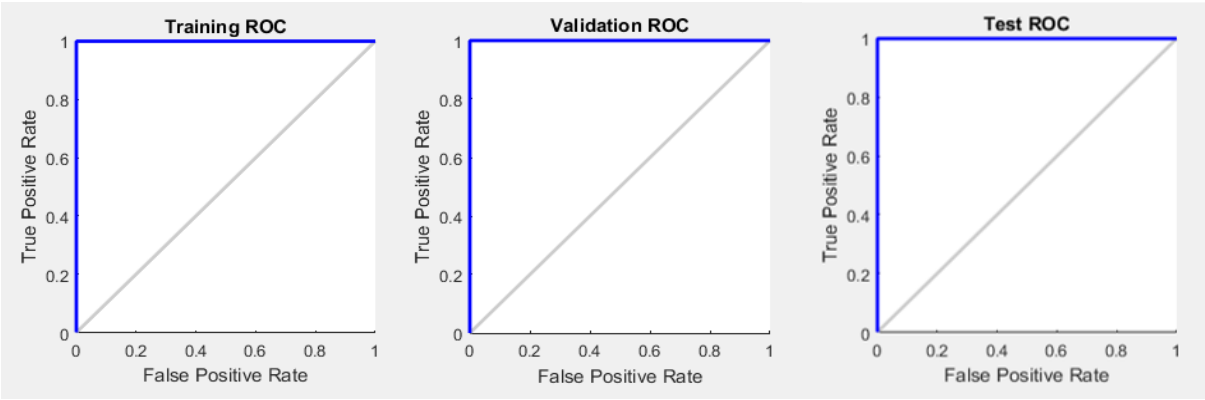
dilihat dari tiga jenis keluaran, yaitu: grafik *error rate*, kurva *receiver operating characteristic* (ROC), dan tabel *confusion matrix*.



Gambar 11. Grafik *error rate* pelatihan jaringan

Grafik *error rate* seperti yang terlihat pada **Gambar 11** selama proses pelatihan menunjukkan nilai *error* = 0.0023552 yang diperoleh pada *epoch* ke-82. Terlihat bahwa antara error pelatihan, validasi, maupun pengujian cenderung konvergen, hal ini menunjukkan bahwa model hasil pelatihan tidak terjadi over fitting dan sudah optimal pada epoch ke-82.

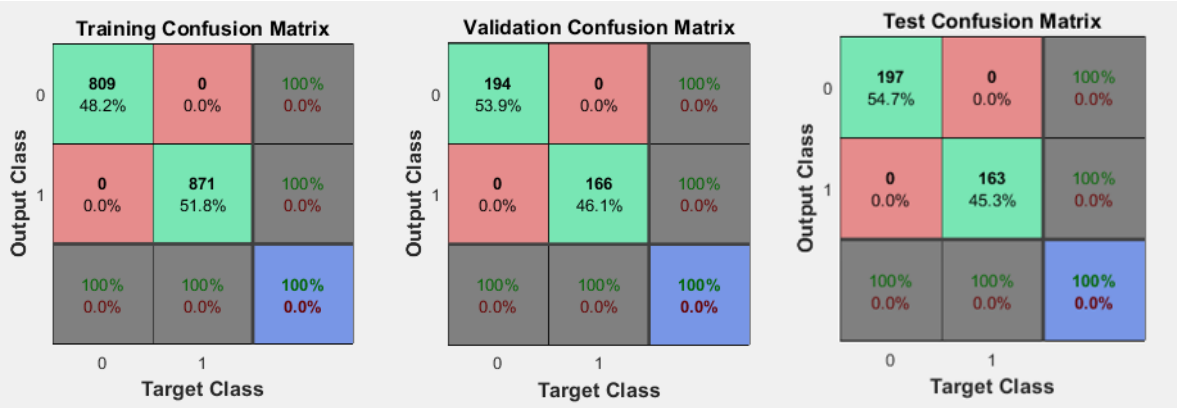
Selain menggunakan grafik *error rate*, kinerja model pelatihan JST yang sudah diperoleh dapat dilihat berdasarkan kurva ROC dari proses pelatihan, validasi, maupun pengujian sampel dataset seperti ditunjukkan oleh **Gambar 12**.



Gambar 12. Kurva ROC hasil pelatihan

ISSN: 1829-667X / E-ISSN: 2460-9021
DOI:10.31515/telematika.v18i3.6185

Kurva ROC seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 12** menggambarkan hasil proses pelatihan, dimana semakin tinggi nilai *True Positive Rate* dan semakin kecil nilai *False Positive Rate* maka menunjukkan kinerja model yang semakin baik. Kurva ROC dibagi menjadi empat untuk hasil pelatihan, validasi, pengujian, dan kinerja secara keseluruhan. Kurva ROC pelatihan diperoleh berdasarkan 1.680 sampel dataset (70%), kurva ROC validasi diperoleh berdasarkan 360 sampel dataset (15%), dan kurva ROC pengujian diperoleh berdasarkan 360 sampel dataset (15%). Selain menggunakan kurva ROC, kinerja model pelatihan juga dilihat menggunakan *confusion matrix* seperti ditunjukkan oleh **Gambar 13**.



Gambar 13. *Confusion matrix* pengujian model pelatihan

Berdasarkan hasil *confusion matrix* yang ditunjukkan pada **Gambar 13** dapat dinyatakan bahwa model pelatihan memiliki nilai akurasi klasifikasi sebesar 100% untuk semua proses pelatihan, validasi, maupun pengujian. *Confusion matrix* pelatihan diperoleh berdasarkan 1.680 sampel dataset (70%), *confusion matrix* validasi diperoleh berdasarkan 360 sampel dataset (15%), dan *confusion matrix* pengujian diperoleh berdasarkan 360 sampel dataset (15%).

3.3. Hasil Uji Purwarupa

Pengujian purwarupa enggunakan 30 sampel yang terbagi dalam empat kategori sampel seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 6**. Adapun jumlah sampel setiap sampel adalah: 15 sampel merupakan daging sapi 100%, 5 sampel untuk kategori daging sapi campur babi 25%, 5 sampel untuk kategori daging sapi campur babi 50%, 5 sampel untuk kategori daging sapi campur babi 75%. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh tabel uji confusion matrix yang dinyatakan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian dengan *confusion matrix*

		Prediksi		
		Daging Sapi Murni	**Daging Sapi Campur Babi**	*Total*
Aktual	**Daging Sapi Murni**	TP = 15	FN = 0	15
	Daging Sapi Campur Babi	FP = 0	TN = 15	15

Berdasarkan hasil dari pengujian yang ditunjukkan oleh **Tabel 1** maka dapat dihitung nilai akurasi, presisi, dan recall untuk setiap kelasnya berdasarkan **Persamaan 3** – **5** yang disajikan pada **Tabel 2**.

$$Akurasi = TP/(TP + FP + FN + TN) \quad (3)$$

$$Presisi = TP/(TP + FP) \quad (4)$$

$$Recall = TP/(TP + FN) \quad (5)$$

Tabel 2. Hasil analisis performa model klasifikasi

Parameter	Nilai
Akurasi	1.0
Presisi	1.0
Recall	1.0

Dari hasil analisis uji yang ditunjukkan oleh **Tabel 2** di atas maka didapatkan hasil pengukuran dalam nilai persen yaitu: akurasi sebesar 100%, presisi sebesar 100% dan recall sebesar 100%.

4. Kesimpulan dan Saran

Sensor TGS2602, TGS2620, TGS2610 dan TGS2611 digunakan sebagai komponen utama sistem *electronic nose* untuk mengukur senyawa volatil yang menguap dari sampel daging. Sistem elektronik pengendali utama berbasis Arduino membaca tingkat konsentrasi senyawa volatil dalam bentuk sinyal analog untuk kemudian diklasifikasi dalam dua kelas yaitu MURNI dan CAMPURAN dengan menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan (JST). Model Jaringan syaraf tiruan dilatih menggunakan metode *backpropagation* melalui aplikasi MATLAB hingga didapat matrik nilai bobot latih, bias dan fungsi normalisasi. Pengujian terhadap purwarupa *electronic nose* menggunakan sampel daging segar sebanyak 30 memberikan hasil akurasi = 100%, presisi = 100%, dan recall = 100%.

Daftar Pustaka

[1] Dharmawan, M. R., Syauqy, D., & Setyawan , G. E. (2019). Sistem Pembeda Daging Sapi dan Daging Babi berdasarkan Warna dan Kadar Amonia menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Berbasis Android. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Vol. 3, No. 11, November 2019, hlm. 10691-10700.

[2] Nafiasari1, N. A., & Handayani, A. M. (2018). Penganalisis Kesegaran Daging Sapi Dan Daging Babi Mentah Berdasarkan Klasifikasi Warna Dan Kelembaban. Jurnal Teknosains Volume 8 No. 1, 22 Desember 2018 Halaman 1-88.

[3] Tian, X., Wang, J., & Cui, S. (2013). Analysis of Pork Adulteration in Minced Mutton using Electronic Nose of Metal Oxide Sensors. Journal of Food Engineering, 119, 744-749.

[4] Putra, R. C. S. S., Rizal. A., Cahyadi. W. A. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kesegaran Daging Berdasarkan Sensor Bau Dan Warna. Jurnal Prosiding e-Proceeding of Engineering : Vol.8, No.1 Februari 2021, Page 103

[5] Simamora, J. (2017). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kesegaran Daging Berdasarkan Sensor Bau Dan Warna. Skripsi, S.T., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

[6] Kosowska, M., Majcher, M., & fortuna, t. (2017). Volatile compounds in meat and meat products. Jurnal Food Science and Technology International, vol.37, hlm.1-7.

[7] Mottram, D. (1998). Flavor formation in meat and meat a review. Jurnal Food Chemistry, 62(4), 415-424.

[8] Tan, J., Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue(e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. Jurnal Artificial Intelligence in Agriculture 4 (2020) 104–115.

[9] Tazi, I., Isnaini, N. L., Mutmainnah, Ainur, A. (2019). Principal Component Analysis (PCA) Method for Classification of Beef and Pork Aroma Based on Electronic Nose. Jurnal Indonesian Journal of Halal Research 1(1): 5-8.

[10] Muttaqin, M. N. (2018). Pengaruh Suhu Pada Chamber Volatile Organic Compound (Daging Sapi Dan Babi) Berbasis Electronic Nose Dengan Menggunakan Metode Linear Discriminant Anaisys (LDA). Skripsi, S.Si., Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.

[11] Triyana, K., Agustika, D., Hardoyono, F., & Chotimah. (2012). Penerapan Metode Ekstraksi Ciri Berbasis Transformasi Wavelet Diskrit untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Electronic Nose. Jurnal Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY, Purworejo 14 April 2012.

[12] Karakaya, D., Ulucan. O., Turkan, M. (2020). Electronic Nose and Its Applications: A Survey. Jurnal International Journal of Automation and Computing 17(2), April 2020, 179-209.

[13] Wilson, A., D. (2012). Review of electronic-nose technologies and algorithms to detect hazardous chemicals in the environment. Jurnal Prosiding Procedia Technology 1 (2012) 453 – 463.

[14] Burgués, J., Marco, S. (2018). Low power operation of temperature-modulated metal oxide semiconductor gas sensors. Jurnal Sensors. 2018; 18(2):339.

[15] Hahn, S. (2002). SnO2 Thick Film Sensors at Ultimate Limits: Performance at Low O2 and H2O Concentrations; Size Reduction by CMOS Technology. Thesis, Ph.D., University of Tübingen, Tübingen.

[16] Julian, T., Hidayat, S. N., Rianjanu, A., Dharmawan, A. B., Wasisto, H. S., Triyana, K. (2020). Intelligent Mobile Electronic Nose System Comprising a Hybrid Polymer-Functionalized Quartz Crystal Microbalance Sensor Array. Jurnal ACS Omega 2020, 5, 29492−29503.

[17] Pacioni, G., Cerretani, L., Procida, G., Cichelli, A. (2014). Composition Of Commercial Truffle Flavored Oils With GC–MS Analysis And Discrimination With An Electronic Nose, Jurnal Food Chemistry, Volume 146, Pages 30-35.

[18] Yanto, M. (2017). Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Algoritma Perceptron Pada Pola Penentuan Nilai Status Kelulusan Sidang Skripsi. Jurnal TEKNOIF, Vol. 5, No. 2, Oktober, 2017.

[19] Shanmuganathan, S., & Samarasinghe, S. (2016). Artificial Neural Network Modelling: An Introduction. Springer, Edisi 1, February, 2016.

[20] Saputra, B., D. (2019). Sistem Prediksi Penentuan Harga Ikan Budidaya Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. Tesis, Megister Sistem Informasi, Universitas Diponegoro.

[21] Jaya, H., Sabran, Idris, M. M., Djawad, Y. A., Ilham, A., & Ahmar, A. S. (2018). kecerdasan buatan. Makasar: Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar.

[22] Isnawan, W. (2018). Identifikasi Citra Abon Daging Sapi Murni Dengan Citra Abon Daging Sapi Yang Dicampur Daging Babi Menggunakan Metode Neural Network. Tesis, M. Eng., Universitas Mercubuana Yogyakarta.

[23] Samsuddin, S. (2018). Pengujian Algoritma Artificial Neural Network (ANN) Untuk Prediksi Kecepatan Angin. Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi Vol.2 No.1, April 2018

[24] Izati, N., A., Warsito, B., Widiharih, T. (2019). Prediksi Harga Emasmenggunakan Feed Forward Neural Networkdengan Metode Extreme Learning Machine. Jurnal Gaussian, Volume 8, Nomor 2, Tahun 2019, Halaman 171-183.

[25] Ulya, N. (2019). Identifikasi Kandungan Minyak Goreng Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Metode Backpropagation. Skripsi, S. Si., Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.