

**OPTIMASI E-NOSE BERBASIS SENSOR GAS MQ
DENGAN VARIASI TEMPERATUR UNTUK
KLASIFIKASI KOPI**

SKRIPSI

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains**



**Muhammad Rosyid Suseno
1306621023**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2025**

ABSTRAK

MUHAMMAD ROSYID SUSENO. Optimasi E-Nose Berbasis Sensor Gas MQ dengan Variasi Temperatur untuk Klasifikasi Kopi. Di bawah bimbingan BAMBANG HERU ISWANTO, HARIS SUHENDAR.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengoptimalkan sistem *Electronic Nose* (E-Nose) berbasis larik sensor gas MQ untuk mengklasifikasikan aroma bubuk kopi Arabika dan Robusta. Sistem E-Nose dirancang dengan ruang sampel berpemanas yang dikendalikan menggunakan algoritma PID, memungkinkan pengaturan temperatur yang stabil pada tiga titik suhu (35 °C, 40 °C, dan 45 °C). Data respons sensor diperoleh dari sembilan sensor MQ, lalu diekstraksi menjadi fitur statistik berupa nilai maksimum (*max*), rata-rata (*mean*), dan *Area Under Curve* (AUC), menghasilkan total 27 fitur per sampel. Fitur-fitur ini digunakan untuk melatih model klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM) dengan kernel linear dan *Radial Basis Function* (RBF). Proses tuning hyperparameter dilakukan menggunakan *Grid Search*, sedangkan evaluasi performa model dilakukan dengan metode *Leave-One-Out Cross Validation* (LOOCV). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa performa terbaik dicapai pada suhu 45 °C dengan kernel linear menghasilkan akurasi 97% dan AUC 1,00, serta kernel RBF mencapai akurasi 97,5% dan AUC 0,9925. Temuan ini membuktikan bahwa kombinasi sensor MQ dengan sistem pemanas dan pendekatan klasifikasi SVM dapat digunakan secara efektif untuk membedakan jenis kopi berdasarkan aroma, dengan akurasi tinggi dan konfigurasi perangkat yang relatif sederhana.

Kata kunci: Klasifikasi Kopi, E-Nose, Sensor MQ, Pemanas PID, Support Vector Machine, LOOCV

ABSTRACT

MUHAMMAD ROSYID SUSENO. Optimization of E-Nose based MQ Sensor with Temperature Variation for Coffee Classification. Supervised by BAMBANG HERU ISWANTO, HARIS SUHENDAR.

This research aims to design and optimize an Electronic Nose (E-Nose) system based on a MQ gas sensor array for classifying the aroma of Arabica and Robusta ground coffee. The E-Nose system was designed with a heated sample chamber controlled by a PID algorithm, allowing stable temperature settings at three levels (35 °C, 40 °C, and 45 °C). Sensor response data were collected from nine MQ sensors and then extracted into statistical features, including maximum value, mean, and Area Under the Curve (AUC), resulting in a total of 27 features per sample. These features were used to train a Support Vector Machine (SVM) classification model using linear and Radial Basis Function (RBF) kernels. Hyperparameter tuning was conducted using Grid Search, and model performance was evaluated using Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV). Evaluation results showed that the best performance was achieved at 45 °C, where the linear kernel yielded 97% accuracy and an AUC of 1.00, while the RBF kernel achieved 97.5% accuracy and an AUC of 0.9925. These findings demonstrate that the combination of MQ sensors with a heating system and the SVM classification approach can be effectively used to distinguish coffee types based on aroma, with high accuracy and a relatively simple device configuration.

Keywords: Coffee Classification, E-Nose, MQ Sensor, PID Heater, Support Vector Machine, LOOCV

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

OPTIMASI E-NOSE BERBASIS SENSOR GAS MQ DENGAN VARIASI TEMPERATUR UNTUK KLASIFIKASI KOPI

Nama : Muhammad Rosyid Suseno
No. Registrasi : 1306621023

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si. NIP. 197909162005011004		11/08 2025
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	: Dr Meiliasari, S.Pd., M.Sc. NIP. 197905042009122002		11/08 2025
Ketua	: Riser Fahdiran, M.Si. NIP. 198307172009121008		29-07-2025
Sekretaris	: Marisa Ulfa, M.Si. NIP. 199003042024062001		30-07-2025
Anggota			
Pembimbing I	: Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M.Si. NIP. 196804011994031002		31/07/2025
Pembimbing II	: Haris Suhendar, M.Sc. NIP. 199404282022031006		31/07/2025
Penguji	: Fachriza Fathan, M.Si. NIP. 199203102024061002		29/07/2025

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 23 Juli 2025

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “Optimasi E-Nose Berbasis Sensor Gas MQ dengan Variasi Temperatur untuk Klasifikasi Kopi” yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika, Universitas Negeri Jakarta, adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari Dosen Pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan dan disebutkan dalam skripsi ini telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, Juli 2025



Muhammad Rosyid Suseno



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Muhammad Rosyid Suseno

NIM : 1306621023

Fakultas/Prodi : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam / Fisika

Alamat email : muhammadrosyid1229@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi ☒ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Optimasi E-Nose Berbasis Sensor Gas MQ dengan Variasi Temperatur untuk Klasifikasi Kopi

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 13 Juli 2025

Penulis

(Muhammad Rosyid Suseno)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Fisika di Universitas Negeri Jakarta yang berjudul **“Optimasi E-Nose Berbasis Sensor Gas MQ dengan Variasi Temperatur untuk Klasifikasi Kopi.”**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan mungkin terlaksana tanpa adanya bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M.Si. dan Bapak Haris Suhendar, M.Sc., sebagai dosen pembimbing skripsi, yang telah dengan sabar membimbing penulis melalui setiap tahap penelitian ini. Bimbingan, saran, dan kritik yang diberikan telah sangat membantu dalam memperjelas arah penelitian dan memperdalam pemahaman penulis terhadap topik yang dikaji.
2. Bapak Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si., sebagai Koordinator Program Studi Fisika dan Dosen Pembimbing Akademik, yang telah membekali penulis dengan ilmu dan bimbingan akademik, khususnya dalam hal penulisan ilmiah yang menjadi fondasi penting dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Abdullah Muadz Muflih, S.Si., sebagai kakak tingkat yang telah membantu banyak dalam berdiskusi mengenai instrumen E-Nose untuk penelitian ini.
4. Keluarga di Cikarang dan Bogor yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat, dan dukungan tanpa henti.
5. Dhea Permata Sari, pemberi semangat tanpa henti, selalu meyakinkan penulis bahwa semua akan baik-baik saja dan akan selesai pada akhirnya.

6. Teman-teman Fisika angkatan 2021, atas kebersamaan, dukungan, dan diskusi yang diberikan selama menempuh perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.

Penulis mengetahui bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Maka dari itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang dari pembaca agar menjadi karya yang lebih baik lagi di masa depan. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi pengembangan penelitian E-Nose ke arah yang lebih baik.

Jakarta, Juli 2025



Muhammad Rosyid Suseno



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. <i>Electronic Nose</i> (E-Nose)	6
1. Pengertian E-Nose	6
2. Prinsip Kerja E-Nose	7
3. Struktur E-Nose	8
B. Sensor Gas MQ	16
C. Kopi Arabika dan Robusta	18
D. Klasifikasi dengan <i>Machine Learning</i>	20
1. Pra-Pemrosesan Data	21
2. Ekstraksi Fitur	21
3. <i>Support Vector Machine</i> (SVM)	22
4. <i>Leave-One-Out Cross Validation</i> (LOOCV)	23

E. Penelitian Relevan	24
F. Kerangka Berpikir	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
A. Tujuan Operasional	27
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
C. Metode Penelitian	28
D. Alat dan Bahan	29
E. Prosedur Penelitian	30
F. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
A. Hasil.....	53
1. Sistem E-Nose.....	53
2. Akuisisi dan Deskripsi Data	54
3. Pra-Pemrosesan Data	56
4. Ekstraksi Fitur.....	58
5. Reduksi Dimensi.....	72
6. Pelatihan Model	76
7. Evaluasi Model	78
B. Pembahasan	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
A. Kesimpulan.....	97
B. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN.....	106
Lampiran 1 Hasil Akuisisi Data E-Nose	107
Lampiran 2 <i>Source Code</i> dan Hasil Penelitian.....	108
RIWAYAT HIDUP.....	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Sensor gas MQ dan target gas (Robu, 2020).	17
Tabel 2. 2. Senyawa volatil dari kopi arabika dan robusta (Yuwono et al., 2019).	19
Tabel 3. 1 Jadwal penelitian.....	27
Tabel 3. 2 Komponen alat dan bahan penelitian	29
Tabel 3. 3 Komponen dan alat penelitian.....	36
Tabel 3. 4 Durasi setiap fase dalam akuisisi data.....	41
Tabel 3. 5 Ekstraksi fitur yang digunakan	43
Tabel 3. 6 Konfigurasi <i>hyperparameter</i> untuk pelatihan SVM melalui pendekatan <i>grid search</i>	45
Tabel 3. 7 Skema LOOCV untuk setiap variasi temperatur.....	46
Tabel 3. 8 <i>Confusion matrix</i>	50
Tabel 3. 9 Keterangan variabel <i>confusion matrix</i>	50
Tabel 3. 10 Tabel hasil klasifikasi.....	52
Tabel 4. 1 Hasil pelatihan model SVM.....	77
Tabel 4. 2 Evaluasi model SVM Linear pada Suhu 35°C.....	79
Tabel 4. 3 <i>Confusion matrix</i> model SVM Linear pada Suhu 35°C.....	79
Tabel 4. 4 Evaluasi model SVM Rbf pada Suhu 35°C	80
Tabel 4. 5 <i>Confusion matrix</i> model SVM Rbf pada Suhu 35°C.....	80
Tabel 4. 6 Evaluasi model SVM Linear pada Suhu 40°C.....	81
Tabel 4. 7 <i>Confusion matrix</i> model SVM Linear pada Suhu 40°C.....	81
Tabel 4. 8 Evaluasi model SVM Rbf pada Suhu 40°C	82
Tabel 4. 9 <i>Confusion matrix</i> model SVM Rbf pada Suhu 40°C.....	82
Tabel 4. 10 Evaluasi model SVM Linear pada Suhu 45°C.....	84
Tabel 4. 11 <i>Confusion matrix</i> model SVM Linear pada Suhu 45°C.....	84
Tabel 4. 12 Evaluasi model SVM Rbf pada Suhu 45°C	84
Tabel 4. 13 <i>Confusion matrix</i> model SVM Rbf pada Suhu 45°C.....	85
Tabel 4. 14 Ringkasan evaluasi model pada penelitian ini	87
Tabel 4. 15 Ringkasan hasil evaluasi model	91
Tabel 4. 16 Perbandingan hasil dengan teknik K-Fold Cross Validation	93
Tabel 4. 17 Perbandingan dengan hasil penelitian sebelumnya.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan sistem penciuman manusia dan E-Nose	7
Gambar 2. 2 Sensor DHT	10
Gambar 2. 3 Pemanas udara.....	13
Gambar 2. 4 Sistem PID	14
Gambar 2. 5 Proses klasifikasi	20
Gambar 2. 6 Respons sensor gas.....	21
Gambar 2. 7. Klasifikasi dengan algoritma SVM	22
Gambar 2. 8 Visualisasi <i>Leave-One-Out Cross Validation</i> (Cha et al., 2020)	24
Gambar 2. 9 Diagram kerangka berpikir dalam penelitian ini.....	26
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3. 2 Desain 3D kerangka sistem E-Nose: (a) Tampilan <i>exploded</i> komponen sebelum dirakit, (b) Tampilan rakitan akhir dengan lubang ventilasi untuk jalur udara.	32
Gambar 3. 3 Desain 3D ruang sensor sistem E-Nose: (a) Tampilan depan dengan bukaan untuk sembilan sensor gas MQ dan satu sensor DHT11, (b) Tampilan atas ruang sensor tertutup dengan saluran masuk dan keluar udara.....	33
Gambar 3. 4 Visualisasi <i>support structure</i> untuk pencetakan kerangka sistem menggunakan metode 3D printing.	34
Gambar 3. 5 (a) Proses pencetakan E-Nose, (b) Hasil cetakan kerangka sistem E-Nose.	34
Gambar 3. 6 Rangkaian sensor E-Nose. (a) Susunan sensor MQ dan DHT11 pada PCB. (b) Ruang sensor E-Nose.....	35
Gambar 3. 7 Diagram rangkaian sistem E-Nose (Muflih, 2024)	37
Gambar 3. 8 Ruang sampel E-Nose dengan pemanas.....	38
Gambar 3. 9 Persiapan sampel	40
Gambar 3. 10 Penimbangan sampel.....	40
Gambar 4. 1 Diagram blok sistem E-Nose	53
Gambar 4. 2 GUI untuk konfigurasi proses akuisisi E-Nose.....	54
Gambar 4. 3 Sistem E-Nose untuk akuisisi data	55
Gambar 4. 4 Contoh sinyal sensor a) sebelum dan b) sesudah filter <i>Savitzky Golay</i>	56
Gambar 4. 5 Perbandingan rata-rata amplitudo sinyal sensor gas terhadap kopi Arabika dan Robusta pada tiga suhu pemanasan: (a) 35°C, (b) 40°C, dan (c) 45°C.	58
Gambar 4. 6 <i>Boxplot</i> fitur <i>mean</i> sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 35°C.	58

Gambar 4. 7 <i>Boxplot</i> fitur <i>max</i> sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 35°C.	60
Gambar 4. 8 <i>Boxplot</i> fitur AUC sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 35°C.	61
Gambar 4. 9 <i>Feature importance</i> pada suhu 35°C.....	63
Gambar 4. 10 <i>Boxplot</i> fitur <i>mean</i> sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 40°C.	64
Gambar 4. 11 <i>Boxplot</i> fitur <i>max</i> sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 40°C.	65
Gambar 4. 12 <i>Boxplot</i> fitur AUC sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 40°C.	66
Gambar 4. 13 <i>Feature importance</i> pada suhu 40°C.....	67
Gambar 4. 14 <i>Boxplot</i> fitur <i>mean</i> sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 45°C.	68
Gambar 4. 15 <i>Boxplot</i> fitur <i>max</i> sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 45°C.	69
Gambar 4. 16 <i>Boxplot</i> fitur AUC sinyal sensor MQ terhadap kopi Arabika dan Robusta pada suhu 45°C.	70
Gambar 4. 17 <i>Feature importance</i> pada suhu 45°C.....	71
Gambar 4. 18 a) <i>Score plot</i> dan b) <i>scree plot</i> pada suhu 35°C.	72
Gambar 4. 19 <i>Score plot</i> 3 Dimensi pada suhu 35°C.....	73
Gambar 4. 20 a) <i>Score plot</i> dan b) <i>scree plot</i> pada suhu 40°C.	73
Gambar 4. 21 <i>Score plot</i> 3 Dimensi pada suhu 40°C.....	74
Gambar 4. 22 a) <i>Score plot</i> dan b) <i>scree plot</i> pada suhu 45°C.	75
Gambar 4. 23 <i>Score plot</i> 3 Dimensi pada suhu 45°C.....	76
Gambar 4. 24 Kurva ROC model SVM Linear dan SVM RBF pada suhu 35°C.	81
Gambar 4. 25 Kurva ROC model SVM Linear dan SVM RBF pada suhu 40°C.	83
Gambar 4. 26 Kurva ROC model SVM Linear dan SVM RBF pada suhu 45°C.	86
Gambar 4. 27 Perbandingan teknik <i>cross validation</i> : a) K-Fold, b) LOOCV.	94

DAFTAR SINGKATAN

AUC	: <i>Area Under Curve</i>
CV	: <i>Cross Validation</i>
E-Nose	: <i>Electronic Nose</i>
GUI	: <i>Graphical User Interface</i>
LOOCV	: <i>Leave-One-Out Cross Validation</i>
PCA	: <i>Principal Component Analysis</i>
PID	: <i>Proportional-Integral-Derivative</i>
RH	: <i>Relative Humidity</i>
ROC-AUC	: <i>Receiver Operating Characteristic – Area Under Curve</i>
SG-Filter	: <i>Savitzky-Golay Filter</i>
SVM	: <i>Support Vector Machine</i>
VOC	: <i>Volatile Organic Compound</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Akuisisi Data E-Nose.....	107
Lampiran 2 Source Code dan Hasil Penelitian	108

