

**Pengembangan Sistem Kromatografi Gas *Low-cost*
Berbasis Sensor SGP30: Optimasi Kolom dan Klasifikasi
Kopi Arabika–Robusta dengan *Machine Learning***

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**



Sayid Mahmud Ibadirahman Syah

1306622005

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

ABSTRAK

SAYID MAHMUD IBADIRAHMAN SYAH. Pengembangan Sistem Kromatografi Gas *Low-cost* Berbasis Sensor SGP30: Optimasi Kolom dan Klasifikasi Kopi Arabika–Robusta dengan *Machine Learning*. Di bawah bimbingan BAMBANG HERU ISWANTO, HARIS SUHENDAR.

Kopi Arabika dan Robusta memiliki karakteristik senyawa volatil yang berbeda sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai dasar autentikasi. Namun, instrumen kromatografi gas konvensional masih memiliki biaya pengadaan dan operasional yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kromatografi gas *low-cost* berbasis sensor SGP30 melalui optimasi konfigurasi kolom untuk menghasilkan *fingerprint* volatil kopi, serta mengevaluasi kinerja algoritma Support Vector Machine (SVM), Random Forest, dan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) dalam mengklasifikasikan kopi Arabika dan Robusta. Sinyal hasil pengukuran diproses menggunakan metode *Positive ReLU Decay*, kemudian diekstraksi menjadi fitur statistik dan dinamis. Analisis data dilakukan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Mutual Information* (MI), sedangkan optimasi model dilakukan menggunakan *Grid Search* dan dievaluasi menggunakan *K-Fold Cross Validation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menghasilkan *fingerprint* volatil yang representatif untuk membedakan kopi Arabika dan Robusta. Ketiga algoritma memberikan performa klasifikasi yang sangat baik, dengan SVM menghasilkan kinerja terbaik. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kromatografi gas *low-cost* berbasis sensor SGP30 berpotensi menjadi alternatif yang ekonomis untuk skrining awal autentikasi kopi.

Kata kunci: kromatografi gas *low-cost*, sensor SGP30, kopi Arabika, kopi Robusta, Support Vector Machine, Random Forest, XGBoost.

ABSTRACT

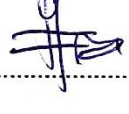
SAYID MAHMUD IBADIRAHMAN SYAH. Development of an SGP30-Based Low-cost Gas Chromatography System for Column Optimization and Machine Learning-Based Classification of Arabica–Robusta Coffee. Supervised by BAMBANG HERU ISWANTO and HARIS SUHENDAR.

Arabica and Robusta coffee possess distinct volatile compound profiles that can be utilized for authentication. However, conventional gas chromatography systems remain expensive for routine applications. This study aims to develop an SGP30-based low-cost gas chromatography system through column configuration optimization to generate volatile fingerprints of coffee and to evaluate the performance of Support Vector Machine (SVM), Random Forest, and Extreme Gradient Boosting (XGBoost) for classifying Arabica and Robusta coffee. The acquired signals were processed using the *Positive ReLU Decay* method and transformed into statistical and dynamic features. Feature analysis was performed using *Principal Component Analysis* (PCA) and *Mutual Information* (MI), while model optimization was conducted using *Grid Search* and evaluated through *K-Fold Cross Validation*. The results demonstrate that the proposed system successfully generated representative volatile fingerprints for distinguishing Arabica and Robusta coffee. All three algorithms achieved excellent classification performance, with SVM providing the best overall performance. These findings indicate that the proposed SGP30-based low-cost gas chromatography system is a promising and economical alternative for preliminary coffee authentication.

Keywords: low-cost gas chromatography, SGP30 sensor, Arabica coffee, Robusta coffee, Support Vector Machine, Random Forest, XGBoost.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
Pengembangan Sistem Kromatografi Gas Low-cost Berbasis Sensor SGP30:
Optimasi Kolom dan Klasifikasi Kopi Arabika-Robusta dengan
Machine Learning

Nama : Sayid Mahmud Ibadirahman Syah
 No. Registrasi : 1306622005

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si. NIP. 197909162005011004		31/07/2026
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	Dr. Meiliasari, S.Pd., M.Sc. NIP. 197905042009122002		31/07/2026
Ketua	Riser Fahdiran, S.Si., M.Si. NIP. 198307172009121008		28/07/2026
Sekretaris	Fachriza Fathan, S.Si., M.Si. NIP. 199203102024061002		28/07/2026
Anggota			
Pembimbing I	Dr. Bambang Heru Iswanto, M.Si. NIP. 196804011994031002		24/7 2026
Pembimbing II	Haris Suhendar, M.Sc NIP. 199404282022031006		22/07/2026
Penguji	Syafrima Wahyu, M.Si. NIP. 199110132023211021		27/07 '26

Dinyatakan lulus ujian skripsi pada tanggal 20 Juli 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul "Pengembangan Sistem Kromatografi Gas Low-cost Berbasis Sensor SGP30: Optimasi Kolom dan Klasifikasi Kopi Arabika–Robusta dengan Machine Learning" 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. 28 Juli 2026



Sayid Mahmud Ibadirahman Syah



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

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 : Sayid Mahmud Ibadirahman Syah
NIM : 1306622005
Fakultas/Prodi : FMIPA / fisika
Alamat email : sayidmahmud060@gmail.com

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

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

yang berjudul :

Pengembangan Sistem Kromatografi Gas Low-cost Berbasis Sensor
SGP30: Optimasi Udon dan Klasifikasi Kopi Arabika-Robusta
dengan Machine Learning

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan 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, 3 Agustus 2026

Penulis


(Sayid Mahmud I.S)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Pengembangan Sistem Kromatografi Gas *Low-cost* Berbasis Sensor SGP30: Optimasi Kolom dan Klasifikasi Kopi Arabika–Robusta dengan *Machine Learning*.**" Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan yang diberikan, serta kesempatan dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M.Si., selaku dosen pembimbing pertama, yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta ilmu yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Haris Suhendar, M.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua, yang telah banyak membantu, membimbing, dan memberikan saran serta masukan yang membangun hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta, atas segala dukungan dan fasilitas yang diberikan selama masa studi.
5. Kedua orang tua tercinta, atas segala doa, kasih sayang, dukungan moral dan material yang tidak pernah putus serta menjadi semangat utama dalam menyelesaikan pendidikan ini.
6. Teman-teman Fisika angkatan 2022, atas kebersamaan, semangat, dan bantuan yang telah diberikan selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
7. Rekan-rekan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan semangat dalam bentuk apa pun selama proses ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca demi perbaikan dan penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi yang berguna untuk pengembangan penelitian di bidang terkait.

Jakarta. 28 Juli 2026

Sayid Mahmud Ibadirahman Syah



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
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	7
A. Kromatografi Gas	7
1. Arsitektur dan Prinsip Kerja Kromatografi Gas	7
2. Kolom GC	8
3. Aplikasi Kromatografi Gas dalam Analisis Senyawa Volatil	9
B. Sensor Gas SGP30	10
1. Prinsip Kerja Sensor SGP30	10
2. Struktur dan Komponen SGP30	11
3. Karakteristik SGP30	11
C. Senyawa Volatil pada Uap Kopi	12
1. Pembentukan Senyawa Volatil pada Kopi	12
2. Metode Pengambilan Uap Kopi (Headspace Sampling)	13
3. Klasifikasi Senyawa Volatil	13
D. Klasifikasi	14
1. Konsep Klasifikasi	14

2. Klasifikasi Biner	14
3. Representasi Data pada Klasifikasi	15
E. <i>Support Vector Machine</i>	15
F. Random Forest	18
G. Extreme Gradient Boosting (XGBoost)	20
H. Penelitian Relevan	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
A. Tempat dan Waktu Penelitian	26
B. Metode Penelitian	27
C. Alat dan Bahan	28
D. Prosedur Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
A. Pengembangan Sistem Kromatografi Gas	47
1. Modifikasi dan Perakitan Sistem Elektronik	47
2. Perancangan dan Pencetakan Casing	47
3. Integrasi dan Pengujian Instrumen	48
4. Pembuatan Grafis Antarmuka	49
B. Optimasi Kolom Kromatografi Gas	50
1. Pengaruh Penggunaan Silika Gel pada Kolom	50
2. Optimasi Panjang Kolom Tanpa Silika Gel	52
3. Verifikasi Menggunakan Toluena	54
C. Data Penelitian	56
1. Akuisisi Data	56
2. Pra-pemrosesan Data	58
3. Ekstraksi Fitur	60
4. Seleksi dan Analisis Fitur	60
D. Pelatihan dan Evaluasi Model <i>Machine Learning</i>	64
1. Pelatihan Model Menggunakan Seluruh Fitur	64
2. Evaluasi Model Menggunakan Keseluruhan Fitur	66
3. Pelatihan Model Menggunakan Fitur hasil seleksi	68
4. Evaluasi Model Menggunakan Fitur hasil seleksi	70
E. Pembahasan	72

1. Pembahasan Hasil Penelitian	72
2 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
A. Kesimpulan.....	76
B. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	83
RIWAYAT HIDUP.....	87



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	26
Tabel 3.2 Komponen Sistem Kromatografi Gas	28
Tabel 3.3 Komponen Kolom Kromatografi Gas.....	29
Tabel 3.4 Konfigurasi Kolom Kromatografi pada Tahap Optimasi	34
Tabel 3.5 Konfigurasi Sampel Penelitian.....	36
Tabel 3.6 Variasi Hyperparameter SVM	42
Tabel 3.7 Variasi Hyperparameter Random Forest.....	43
Tabel 3.8 Variasi Hyperparameter XGBoost	44
Tabel 4.1 Ringkasan hasil optimasi konfigurasi kolom.....	55
Tabel 4.2 Contoh struktur dataset hasil ekstraksi fitur yang digunakan sebagai masukan model klasifikasi	60
Tabel 4.3 Hasil optimasi hiperparameter Support Vector Machine menggunakan keseluruhan fitur	65
Tabel 4.4 Hasil optimasi hiperparameter Random Forest menggunakan keseluruhan fitur	65
Tabel 4.5 Hasil optimasi hiperparameter XGBoost menggunakan keseluruhan fitur	66
Tabel 4.6 Hasil evaluasi model menggunakan seluruh fitur	66
Tabel 4.7 Confusion Matrix model yang menggunakan seluruh fitur	67
Tabel 4.8 Hasil optimasi hiperparameter Support Vector Machine menggunakan fitur hasil seleksi.....	68
Tabel 4.9 Hasil optimasi hiperparameter Random Forest menggunakan fitur hasil seleksi	69
Tabel 4.10 Hasil optimasi hiperparameter XGBoost menggunakan fitur hasil seleksi	69
Tabel 4.11 Hasil evaluasi model menggunakan fitur hasil seleksi	70
Tabel 4.12 Confusion Matrix model dengan fitur hasil seleksi	70
Tabel 4.13 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema kerja kromatografi gas.....	7
Gambar 2.2 Modul sensor gas SGP30.	11
Gambar 2.3 Konsep Klasifikasi SVM (Raschka & Mirjalili, 2017).....	16
Gambar 2.4 Pengaruh Parameter C terhadap Margin SVM (Raschka, 2015).	17
Gambar 2.5 Mekanisme Random Forest (Genuer & Poggi, 2020).....	18
Gambar 2.6 Mekanisme Pembentukan XGBoost (Hidayaturohman & Hanada, 2024).	20
Gambar 3.1 Sampel penelitian berupa kopi Arabika Gold dan Robusta Gold produksi Excelso.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.3 Ilustrasi rancangan alat.....	31
Gambar 3.4. Skema Rangkaian Integrasi Sensor SGP30 dengan Mikrokontroler dan Sistem Pendukung (a) Sistem catu daya GC; (b) Sensor gas SGP30; (c) Motor DC air pump; (d) Unit mikrokontroler	32
Gambar 3.5 Desain Casing dan Ruang Detektor Kromatografi Gas: (a) Bagian body casing; (b) Casing dengan penutup; (c) Ruang sampel; (d) Tempat pemasangan sensor; (e) Ruang Pemanas.	33
Gambar 3.6. Proses penimbangan sampel kopi menggunakan neraca digital.	35
Gambar 3.7. Sampel kopi yang telah dimasukkan ke dalam vial 20 mL.....	35
Gambar 3.8. Diagram alir proses akuisisi data sampel kopi.....	36
Gambar 3.9 Ilustrasi Confusion Matrix (Raschka, 2015)	45
Gambar 3.10 Ilustrasi kurva ROC (a) dan area AUC (b) yang menunjukkan hubungan TPR–FPR serta kemampuan diskriminatif model klasifikasi. (Evidently AI Team, 2025)	45
Gambar 4.1 PCB hasil perakitan rangkaian sistem kromatografi gas.....	47
Gambar 4.2 Casing instrumen yang telah dicetak menggunakan printer 3D.....	48
Gambar 4.3 Hasil integrasi seluruh komponen sistem kromatografi gas, terdiri atas (a) instrumen utama (main case) dan (b) ruang pemanas (<i>heater chamber</i>)	48
Gambar 4.4 Antarmuka aplikasi kromatografi gas yang terdiri atas (a) halaman akuisisi data dan (b) halaman preview hasil pengukuran.	49
Gambar 4.5 Kurva hasil pengujian kolom berisi silika gel dengan diameter dalam 1 mm, terdiri atas (a) panjang kolom 150 cm, (b) panjang kolom 200 cm, dan (c) panjang kolom 250 cm.....	50
Gambar 4.6 Perbandingan kurva hasil pengujian kolom dengan (a) menggunakan silika gel dan (b) tanpa menggunakan silika gel.....	52
Gambar 4.7 Grafik overlay hasil pengujian sampel LPG menggunakan kolom tanpa silika dengan panjang (a) 200 cm, (b) 600 cm, dan (c) 1000 cm.....	53

Gambar 4.8 Kurva hasil pengujian sampel toluena menggunakan kolom sepanjang 1000 cm tanpa silika gel.	54
Gambar 4.9 Perbandingan kurva hasil pengukuran menggunakan kolom sepanjang 1000 cm, terdiri atas (a) sampel LPG dan (b) sampel toluena.	55
Gambar 4.10 Dokumentasi proses pengambilan dan injeksi sampel. (a) Pengambilan sampel gas menggunakan metode static headspace sampling. (b) Injeksi gas ke dalam sistem kromatografi gas.	56
Gambar 4.11 Sinyal mentah (raw signal) hasil pengukuran. (a) Sinyal sampel kopi Arabika. (b) Sinyal sampel kopi Robusta.	57
Gambar 4.12 Hasil penerapan filter Positive ReLU Decay pada sinyal pengukuran. (a) Sinyal Arabika sebelum pemrosesan. (b) Sinyal Arabika setelah penerapan filter. (c) Sinyal Robusta sebelum pemrosesan. (d) Sinyal Robusta setelah penerapan filter.	59
Gambar 4.13 Peringkat nilai Mutual Information (MI) pada setiap fitur hasil ekstraksi.	61
Gambar 4.14 Visualisasi PCA pada dataset yang menggunakan seluruh fitur hasil ekstraksi. (a) Scatter plot. (b) Scree plot. (c) Loading plot.	63
Gambar 4.15 Visualisasi PCA pada dataset menggunakan fitur hasil seleksi. (a) Scatter plot. (b) Scree plot. (c) Loading plot.	64
Gambar 4.16 Kurva Receiver Operating Characteristic (ROC) menggunakan seluruh fitur. (a) Support Vector Machine (SVM). (b) Random Forest. (c) Extreme Gradient Boosting (XGBoost).	68
Gambar 4.17 Kurva Receiver Operating Characteristic (ROC) menggunakan fitur hasil seleksi. (a) Support Vector Machine (SVM). (b) Random Forest. (c) Extreme Gradient Boosting (XGBoost).	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Sistem Kromatografi Gas <i>Low-cost</i>	83
Lampiran 2. Dokumentasi Tahapan Akuisisi Data	84
Lampiran 3. Spesifikasi Perangkat Komputasi untuk Pelatihan dan Evaluasi Model <i>Machine Learning</i>	85
Lampiran 4. Grafik Scatter Plot Principal Component Analysis (PCA).....	85
Lampiran 5. Grafik Scree Plot Principal Component Analysis (PCA).....	85
Lampiran 6. Grafik Biplot Principal Component Analysis (PCA)	86
Lampiran 7. Dataset Kopi Arabika dan Robusta	86
Lampiran 8. Source Code Pengolahan Data dan Klasifikasi	86

