

**KLASIFIKASI TINGKAT KEBERSIHAN UDARA
MENGUNAKAN K-MEANS DAN SVM
PADA *SMART INDOOR AIR SYSTEM* BERBASIS IOT**



TUGAS AKHIR

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Sriwijaya**

Oleh:

Nanda Galea

062140342317

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

PALEMBANG

2025

HALAMAN PENGESAHAN
KLASIFIKASI TINGKAT KEBERSIHAN UDARA
MENGGUNAKAN K-MEANS DAN SVM
PADA SMART INDOOR AIR SYSTEM BERBASIS IOT



Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Sriwijaya

Oleh:

Nanda Galea
062140342317

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Ir. A. Rahman, M.T.
NIP 196202051993031002

Dosen Pembimbing II

Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T.
NIP 198910022019032013

Mengetahui,

Ketua Jurusan
Teknik Elektro



Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM.
NIP 197907222008011607

Koordinator Program Studi
Sarjana Terapan Teknik Elektro

Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T.
NIP 198910022019032013

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan :

Nama : Nanda Galea
NPM : 062140342317
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 07 Juli 2003
Alamat : Jl. Tanah Merah Lr. Penukal No. 4754
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Elektro
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Klasifikasi Tingkat Kebersihan Udara Menggunakan K-Means dan SVM pada *Smart Indoor Air System* Berbasis IoT

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri serta bebas dari tindakan plagiasi dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Tugas Akhir yang sudah disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah ujian Tugas Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah ujian Tugas Akhir.

Apabila di kemudian hari diketahui ada pernyataan yang terbukti tidak benar dan tidak dapat dipenuhi, maka saya siap bertanggung jawab dan menerima sanksi tidak diikutsertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh jurusan Teknik Elektro sehingga berdampak tertundanya pengambilan Ijazah & Transkrip (ASLI & COPY). Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar tanpa paksaan.



Palembang, Agustus 2025
Yang Menyatakan



Nanda Galea

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Menyesali nasib tidak akan mengubah keadaan. Terus berkarya dan bekerjalah yang membuat kita berharga”

-(Gus Dur)-

“Be grateful and let go of perfection, for only God is truly perfect”

-(Galea)-

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Almarhum **Ayah** serta **Ibu** tercinta, yang selalu berjuang dan mengusahakan segala hal demi kehidupan saya hingga saya dapat berada di titik ini. Terima kasih atas kepercayaan dan keyakinan bahwa saya mampu menyelesaikan semuanya.
2. **Bapak Ir. A. Rahman, M.T.** dan **Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing, terima kasih atas bimbingan, arahan, dan waktu yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. **Ibu Dr. Nyayu Latifah Husni, S.T., M.T.** dan **Bapak Muhammad Amri Yahya, S.Pd., M.Eng.**, terima kasih atas dukungan dan bantuan luar biasa yang sangat berarti bagi perkembangan saya, khususnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini di luar peran formal sebagai pembimbing.
4. **Kakak** dan **Ayuk** saya, terima kasih atas segala doa serta dukungan yang tidak pernah putus, yang menjadi penyemangat dalam setiap langkah saya.
5. **Ponakan** saya tercinta, terima kasih telah menjadi sumber keceriaan dan motivasi tersendiri di sela-sela perjuangan menyelesaikan studi ini.
6. **Sahabat-sahabat** saya, dari taman kanak-kanak hingga perkuliahan, kalian adalah *support system* terbaik. Terima kasih telah selalu hadir, menguatkan, dan berjalan bersama dalam suka dan duka.
7. **Para peneliti selanjutnya** yang mengambil tema yang sejalan dengan penelitian ini, semoga hasil karya sederhana ini dapat memberikan manfaat dan menjadi pijakan untuk pengembangan lebih lanjut.

ABSTRAK

KLASIFIKASI TINGKAT KEBERSIHAN UDARA MENGGUNAKAN K-MEANS DAN SVM PADA *SMART INDOOR AIR SYSTEM* BERBASIS IOT

(2025: xxxiv+145 Halaman+92 Gambar +35 Tabel+Daftar Pustaka+Lampiran)

NANDA GALEA

062140342317

PRODI SARJANA TERAPAN TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Kualitas udara dalam ruangan sangat memengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni. Penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi kebersihan udara berbasis IoT menggunakan metode K-Means dan Support Vector Machine (SVM). Klusterisasi dilakukan terhadap enam parameter utama (CO, asap, HC, PM₁₀, TVOC, dan eCO₂) dan menghasilkan empat kelas, yaitu Aman, Sedang I, Sedang II, dan Bahaya, dengan nilai *silhouette score* >0.85 yang menunjukkan kualitas klusterisasi baik dan konsisten. Model SVM dilatih menggunakan data hasil klusterisasi dan dioptimasi dengan Optuna serta teknik SMOTE, menghasilkan akurasi pelatihan 97.34%, validasi 98.16% dan pengujian 95.97%, selisih kecil menunjukkan performa stabil tanpa indikasi *overfitting*. Evaluasi prediksi juga menunjukkan nilai error (MAE, RMSE, MAPE) sangat kecil, memperkuat kemampuan prediksi model. Implementasi *real-time* dilakukan melalui konversi model ke format JSON untuk digunakan di Google Apps Script, dan diuji selama lima hari terhadap 5.781 data sensor. Hasilnya, sebanyak 99.91% data berhasil diklasifikasikan dengan benar. Sistem ini terbukti akurat, efisien, dan baik untuk diterapkan dalam *smart indoor air system*.

Kata kunci: Klasifikasi Udara, SVM, K-Means, Metrik Evaluasi, IoT

ABSTRACT

AIR QUALITY LEVEL CLASSIFICATION USING K-MEANS AND SVM ON SMART INDOOR AIR SYSTEM BASED ON IOT

(2025: xxxiv+145 Pages+92 Pictures+35 Tables+References+Attachments)

NANDA GALEA

062140342317

BACHELOR OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT

STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA

Indoor air quality greatly affects occupants' health and comfort. This research develops an IoT-based air cleanliness classification system using K-Means and Support Vector Machine (SVM) methods. Clustering was performed on six main parameters (CO, smoke, HC, PM₁₀, TVOC, and eCO₂) and resulted in four classes, namely Safe, Moderate I, Moderate II, and Hazard, with a silhouette score value >0.85 which indicates the quality of clustering is good and consistent. The SVM model was trained using clustering data and optimized with Optuna and SMOTE techniques, resulting in training accuracy of 97.34%, validation of 98.16% and testing of 95.97%, a small difference indicating stable performance with no indication of overfitting. Prediction evaluation also shows that the error values (MAE, RMSE, MAPE) are very small, strengthening the model's predictive ability. Real-time implementation was done through converting the model to JSON format for use in Google Apps Script, and tested for five days against 5,781 sensor data. As a result, 99.91% of the data was classified correctly. This system is proven to be accurate, efficient, and good to be applied in smart indoor air systems.

Keywords: *Air Classification, SVM, K-Means, Evaluation Metrics, IoT*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini yang diberi judul **“Klasifikasi Tingkat Kebersihan Udara Menggunakan K-Means dan SVM pada *Smart Indoor Air System* Berbasis IoT”** dapat terselesaikan dengan baik.

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro pada Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Sriwijaya. Tugas Akhir ini berisi Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Metodologi Penelitian, Bab IV Hasil dan Pembahasan serta Bab V Kesimpulan dan Saran.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. **Bapak Ir. A. Rahman, M.T., selaku Dosen Pembimbing I.**
2. **Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II**

Kemudian dengan segala ketulusan hati penulis juga berterima kasih atas dukungan, arahan, bantuan serta kemudahan dari berbagai pihak, di antaranya:

1. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Ibu Lindawati, S.T., M.T.I., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Seluruh Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. Seluruh Staf Teknisi Laboratorium dan Bengkel Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Ibu Dr. Nyayu Latifah Husni, S.T., M.T. dan Bapak Muhammad Amri Yahya, S.Pd., M.Eng atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, di luar peran pembimbing utama saya.

8. Ayah, Ibu, Kakak, Ayuk serta Keponakan tercinta yang telah memberikan dukungan dan semangat baik dari segi spiritual, emosional serta material.
9. Sahabat seperjuangan di masa sekolah yaitu Septina Mirati dan Aulia Fitriyani yang telah menemani dalam keadaan apapun, baik suka maupun duka.
10. Teman-teman “Anak Mami” Kelas ELB Angkatan 2021 Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya yang terdiri dari Arman, Farhan, Nanin, Citra, Imel, Afif, Alfi, Aziz, Geren, Lukman, Akbar, Dhoni, Rani, Marco, Hikmal, Gandi, Kide, Satria, Yoga, Dafi, Martin, Yolanda dan Thoriq.
11. Teman-teman Magang yaitu Nadhirah, Doarto, Rifqi, Aldi dan Sandi serta kakak-kakak Divisi Elektrik dan Instrumen di PLTU BEST Tahun 2024 di antaranya Le Pardi, Kak Basith, Kak Ekky, Kak Gareng, Kak Reza dan Kak Oyon.
12. Teman-teman dan Staf Studi Independen Besertifikat *Cycle 7* Indobot Academy terkhusus Pak Rizki, Kak Syafira, Adilah, Akbar, Dennis, Ikhsan, Seto, Robby, Adit, Habib, Naufal, Fajar dan Abi.
13. Teman-teman Given Simpony di antaranya Kak Rica, Kak Nisa, Kak Rona, Al, Dinda dan Lola.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan kekeliruan mengingat keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan pembuatan Tugas Akhir. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam segi intelektual di bidang Teknik Elektro bagi para pembaca.

Palembang, Agustus 2025

Nanda Galea
062140342317

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	4
1.2.1 Tujuan	4
1.2.2 Manfaat	5
1.3 Perumusan Masalah	5
1.4 Pembatasan Masalah	5
1.5 Metode Penulisan	6
1.5.1 Metode Literatur.....	6
1.5.2 Metode Observasi.....	7
1.5.3 Metode Eksperimen	7
1.5.4 Metode Konsultasi	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 <i>State of the Art</i>	9
2.2 Rumah Pintar (<i>Smart Home</i>)	12

2.3 Kualitas Udara.....	12
2.4 ESP32.....	13
2.5 Sensor.....	15
2.5.1 MiCS 5524	15
2.5.2 MQ-2.....	17
2.5.3 GP2Y1010AU0F	18
2.5.4 TGS 2610	20
2.5.5 ENS 160 + AHT 21.....	22
2.5.6 DHT-22	24
2.6 Aktuator.....	25
2.6.1 Aktuator Linier.....	26
2.6.2 <i>Exhaust Fan</i>	26
2.7 <i>Solid State Relay (SSR)</i>	27
2.8 Indikator	27
2.8.1 <i>Buzzer</i>	27
2.8.2 <i>Light Emitting Diode (LED)</i>	28
2.9 <i>Mini Circuit Breaker (MCB)</i>	28
2.10 <i>Fuse</i>	28
2.11 <i>Power Supply</i>	29
2.12 <i>Internet of Things (IoT)</i>	29
2.13 <i>Artificial Intelligence (AI)</i>	30
2.14 <i>Machine Learning (ML)</i>	30
2.15 <i>K-Means Clustering</i>	31
2.16 <i>Support Vector Machine (SVM)</i>	32
2.17 <i>Optimasi Optuna</i>	32
2.18 <i>Firebase</i>	33

2.19 Jupyter Notebook	33
2.20 Spreadsheet	34
2.21 Apps Script.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1 Kerangka Tugas Akhir	36
3.2 Studi Literatur	37
3.3 Perancangan dan Pengembangan Alat	37
3.4 Perancangan <i>Hardware</i>	37
3.4.1 Desain Mekanik	37
3.4.2 Desain Elektronik.....	38
3.5 Perancangan <i>Software</i>	43
3.6 Pemograman ESP32.....	43
3.6.1 Konversi Nilai dan Program Pembacaan Sensor	44
3.6.2 Program Pengendalian Aktuator dan Indikator.....	68
3.7 Integrasi <i>Internet of Things</i> (IoT).....	69
3.7.1 Diagram Blok IoT	70
3.7.2 Koneksi Wi-Fi.....	70
3.7.3 <i>Over the Air</i> (OTA).....	72
3.7.4 <i>Firestore Real-Time Database</i>	73
3.7.5 Apps Script.....	74
3.7.6 Aplikasi	76
3.8 Penggunaan <i>Machine Learning</i>	78
3.8.1 Diagram Blok <i>Machine Learning</i> (K-Means dan SVM)	78
3.8.2 Pengumpulan Data	79
3.8.3 Pembagian Fitur	85
3.8.4 Klasterisasi dengan K-Means.....	85

3.8.5 Klasifikasi dengan <i>Support Vector Machine</i> (SVM)	93
3.9 Implementasi	103
3.9.1 Diagram Blok Implementasi	104
3.9.2 Pengujian Data <i>Real-Time</i>	105
3.10 <i>Flowchart</i> Sistem	105
3.11 Pembuatan Laporan.....	108
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	109
4.1 Deskripsi Alat.....	109
4.2 Klasterisasi K-Means	112
4.2.1 <i>Heatmap Centroid</i> Klaster	112
4.2.2 Rentang Nilai Klaster	115
4.2.3 Evaluasi Klaster	118
4.2.4 Pelabelan Akhir dan Distribusi Label	119
4.2.5 <i>Oversampling</i> dengan SMOTE	122
4.2.6 Analisis Kualitas dan Hasil Klasterisasi K-Means.....	123
4.3 Klasifikasi <i>Support Vector Machine</i> (SVM).....	125
4.3.1 Eksplorasi Data	126
4.3.2 Optimasi Optuna	127
4.3.3 Evaluasi Data Pelatihan.....	129
4.3.4 Evaluasi Data Validasi	130
4.3.5 Evaluasi Data Uji	131
4.3.6 <i>Confusion Matrix</i> (Data Uji)	132
4.3.7 Evaluasi Prediksi (Data Uji).....	133
4.3.8 Uji Coba dengan Data Simulasi	133
4.3.9 Analisis Performa Klasifikasi SVM.....	136
4.4 Implementasi SVM pada Data <i>Real-Time</i>	138

4.4.1 Hasil Klasifikasi <i>Real-time</i>	138
4.4.2 Analisis Evaluasi Hasil <i>Real-Time</i>	142
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	144
5.1 Kesimpulan	144
5.2 Saran.....	145
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN.....	L-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 ESP 32	14
Gambar 2. 2 MICS 5524	15
Gambar 2. 3 Rangkaian minimum MiCS-5524	16
Gambar 2. 4 Sensor MQ-2	17
Gambar 2. 5 Rangkaian minimum MQ-2	17
Gambar 2. 6 Sensor GP2Y1010AU0F	18
Gambar 2. 7 Rangkaian Minimum GP2Y1010AU0F	19
Gambar 2. 8 TGS 2610	20
Gambar 2. 9 Rangkaian Minimum TGS 2610	21
Gambar 2. 10 ENS 160	22
Gambar 2. 11 Rangkaian ENS 160	23
Gambar 2. 12 Rangkaian Minimum AHT 21	23
Gambar 2. 13 DHT-22	24
Gambar 2. 14 Rangkaian DHT-22	25
Gambar 2. 15 Rangkaian <i>Power Supply</i>	29
Gambar 2. 16 Firebase	33
Gambar 2. 17 Jupyter Notebook	34
Gambar 2. 18 Spreadsheet.....	35
Gambar 2. 19 Apps Script.....	35
Gambar 3. 1 Kerangka Pelaksanaan Tugas Akhir	36
Gambar 3. 2 Desain Smart Indoor Air System	38
Gambar 3. 3 Diagram Blok <i>Smart Indoor Air System</i>	39
Gambar 3. 4 Rangkaian Elektronik <i>Smart Indoor Air System</i>	40
Gambar 3. 5 Diagram Skematik Sistem 1	41
Gambar 3. 6 Diagram Skematik Sistem 2	42
Gambar 3. 7 Grafik Konsentrasi CO Berdasarkan Rs/R0	44
Gambar 3. 8 Pengambilan Titik Grafik CO dengan Web Plot Digitalizer.....	45
Gambar 3. 9 Program Regresi Log-Log untuk Konversi satuan CO	47
Gambar 3. 10 Pengukuran Tegangan saat Udara Bersih.....	48
Gambar 3. 11 Program Uji Coba Konversi CO dalam ppm	49

Gambar 3. 12 Cuplikan <i>Library</i> DHT.h.....	53
Gambar 3. 13 Penggunaan <i>Library</i> DHT.h.....	54
Gambar 3. 14 Grafik Konsentrasi HC Berdasarkan R_s/R_0	55
Gambar 3. 15 Pengambilan Titik Grafik HC dengan Web Plot Digitalizer.....	56
Gambar 3. 16 Program Regresi Log-Log untuk Konversi satuan HC	57
Gambar 3. 17 Pengukuran Tegangan Keluaran Sensor saat Diuji dengan iso-butana 1800 ppm.....	58
Gambar 3. 18 Program Uji Coba Konversi HC dalam ppm	60
Gambar 3. 19 Grafik Konsentrasi Debu Berdasarkan Tegangan	61
Gambar 3. 20 Program Uji Coba Konversi PM_{10} dalam $\mu g/m^3$	62
Gambar 3. 21 Program Penggunaan <i>Library</i> Sparkfun_ENS160.h	65
Gambar 3. 22 Program Sensor AHT 21	67
Gambar 3. 23 Program Kendali Aktuator dan Indikator.....	69
Gambar 3. 24 Diagram Blok IoT	70
Gambar 3. 25 Program WifiManager	71
Gambar 3. 26 Konfigurasi Wi-Fi	71
Gambar 3. 27 Program OTA.....	72
Gambar 3. 28 Unggah Program dengan OTA.....	72
Gambar 3. 29 Program Kirim Data ke Firebase.....	73
Gambar 3. 30 Struktur Firebase <i>Real-time Database</i>	74
Gambar 3. 31 Program JavaScript untuk Fungsi Klasifikasi Menggunakan SVM.....	75
Gambar 3. 32 Program Tampilan Nilai Sensor dengan <i>Gauge</i>	76
Gambar 3. 33 Program Status <i>Card</i>	77
Gambar 3. 34 Program untuk Histori Spreadsheet	77
Gambar 3. 35 Diagram Blok K-Means	78
Gambar 3. 36 Diagram Blok SVM	79
Gambar 3. 37 Program Standarisasi Data pada Keempat Kelompok Klaster.....	86
Gambar 3. 38 Evaluasi Jumlah Klaster pada Kelompok Klaster A (CO dan Asap)	88
Gambar 3. 39 Evaluasi Jumlah Klaster pada Kelompok Klaster B (HC)	88
Gambar 3. 40 Evaluasi Jumlah Klaster pada Kelompok Klaster C (PM_{10})	89

Gambar 3. 41 Evaluasi Jumlah Klaster pada Kelompok Klaster D (TVOC dan eCO ₂).....	89
Gambar 3. 42 Program Penyatuan Kondisi Akhir Tiap Baris Data	91
Gambar 3. 43 Program SMOTE.....	92
Gambar 3. 44 Program Matriks Korelasi	94
Gambar 3. 45 Program <i>Label Encoding</i>	94
Gambar 3. 46 Program <i>Split Data</i>	94
Gambar 3. 47 Program Standarisasi Data	95
Gambar 3. 48 Program Optimasi Optuna.....	96
Gambar 3. 49 Program untuk <i>Generate</i> Metrik Evaluasi	99
Gambar 3. 50 Program <i>Confusion Matrix</i>	100
Gambar 3. 51 Program Metrik Evaluasi Prediksi	102
Gambar 3. 52 Program Konversi Format JSON	103
Gambar 3. 53 Diagram Blok Implementasi	104
Gambar 3. 54 <i>Flowchart Smart Indoor Air System Berbasis IoT</i>	107
Gambar 4. 1 <i>Smart Indoor Air System</i>	109
Gambar 4. 2 Sistem 1	110
Gambar 4. 3 Sistem 2	110
Gambar 4. 4 (a) (b) (c): Tampilan Aplikasi	111
Gambar 4. 5 <i>Heatmap Centroid</i> Klaster A.....	112
Gambar 4. 6 <i>Heatmap Centroid</i> Klaster B.....	113
Gambar 4. 7 <i>Heatmap Centroid</i> Klaster C.....	114
Gambar 4. 8 <i>Heatmap Centroid</i> Klaster D.....	114
Gambar 4. 9 Rentang Nilai Klaster A	115
Gambar 4. 10 Rentang Nilai Klaster B	116
Gambar 4. 11 Rentang Nilai Klaster C	117
Gambar 4. 12 Rentang Nilai Klaster D	118
Gambar 4. 13 Distribusi Kondisi Dataset Setelah Diberi Label	121
Gambar 4. 14 Perbandingan Distribusi Kelas Sebelum dan Sesudah SMOTE ..	122
Gambar 4. 15 <i>Radar Chart</i> Metrik Evaluasi.....	123
Gambar 4. 16 Matriks Korelasi Antar Fitur	126
Gambar 4. 17 <i>Confusion Matrix</i> Data Uji.....	132

Gambar 4. 18 Perbandingan Performa SVM	136
Gambar 4. 19 Grafik Radar Performa Prediksi Kelas pada Data Uji.....	137

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>State of the Art</i> K-Means.....	10
Tabel 2. 2 <i>State of the Art</i> SVM.....	11
Tabel 2. 3 Kategori ISPU	13
Tabel 2. 4 Spesifikasi ESP 32	14
Tabel 3. 1 Posisi Titik Grafik CO	45
Tabel 3. 2 Perbandingan Nilai ppm CO (Perangkat dan Alat Ukur)	50
Tabel 3. 3 Contoh Pengiriman Data Biner	52
Tabel 3. 4 Perbandingan Nilai Suhu serta Kelembaban (Perangkat dan Alat Ukur)	54
Tabel 3. 5 Posisi Titik Grafik HC Iso-Butana.....	56
Tabel 3. 6 Perbandingan Nilai ppm HC (Perangkat dan Alat Ukur)	60
Tabel 3. 7 Perbandingan Nilai PM ₁₀ (Perangkat dan Alat Ukur).....	63
Tabel 3. 8 Contoh Pengiriman Data	64
Tabel 3. 9 Perbandingan Nilai TVOC (Perangkat dan Alat Ukur)	65
Tabel 3. 10 Contoh Pengiriman Data Biner AHT 21	66
Tabel 3. 11 Perbandingan Perbandingan Nilai Suhu serta Kelembaban AHT 21 (Perangkat dan Alat Ukur)	68
Tabel 3. 12 Jenis Zat Berbahaya yang digunakan untuk Pengambilan Data	80
Tabel 3. 13 Contoh Data yang Dikumpulkan saat Udara Bersih	81
Tabel 3. 14 Contoh Data yang Dikumpulkan saat Udara Terkontaminasi Asap atau CO	81
Tabel 3. 15 Contoh Data yang Dikumpulkan saat Udara Terkontaminasi HC	82
Tabel 3. 16 Contoh Data yang Dikumpulkan saat Udara Terkontaminasi PM ₁₀ ..	82
Tabel 3. 17 Contoh Data yang Dikumpulkan saat Udara Terkontaminasi eCO ₂ ..	83
Tabel 3. 18 Nilai Mean dan Std Masing-Masing Fitur	87
Tabel 3. 19 Percobaan Optuna	97
Tabel 4. 1 Evaluasi Kluster	118
Tabel 4. 2 Sebagian Data Hasil Klasterisasi dengan <i>Rule-Based</i>	120
Tabel 4. 3 Percobaan dalam Mencari Kombinasi Parameter Terbaik.....	128

Tabel 4. 4 Evaluasi Data Pelatihan Menggunakan SVM.....	129
Tabel 4. 5 Evaluasi Data Validasi Menggunakan SVM	130
Tabel 4. 6 Evaluasi Data Uji Menggunakan SVM.....	131
Tabel 4. 7 Metrik Evaluasi Prediksi.....	133
Tabel 4. 8 Data Simulasi	134
Tabel 4. 9 Prediksi Kondisi Data Simulasi	134
Tabel 4. 10 Tabel Prediksi Benar (Data Representatif)	140
Tabel 4. 11 Tabel Prediksi Salah.....	141
Tabel 4. 12 Evaluasi Data Real-Time	142

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dataset Tanpa Label	L-1
Lampiran 2 Dataset Hasil Klasterisasi	L-2
Lampiran 3 Dataset Final untuk SVM	L-3
Lampiran 4 Dataset Hasil SMOTE	L-4
Lampiran 5 SVM Dalam Format JSON.....	L-5
Lampiran 6 Program K-Means	L-6
Lampiran 7 Program SVM.....	L-10
Lampiran 8 Rekomendasi Sidang	L-12
Lampiran 9 Kesepakatan Pembimbing 1	L-13
Lampiran 10 Kesepakatan Pembimbing 2	L-14
Lampiran 11 Bimbingan Pebimbing 1	L-15
Lampiran 12 Bimbingan Pembimbing 2	L-17
Lampiran 13 Pelaksanaan Revisi	L-19
Lampiran 14 LoA.....	L-19
Lampiran 15 Jurnal	L-21
Lampiran 16 Pengujian Dengan Alat Ukur.....	L-32
Lampiran 17 Isi Box Alat.....	L-35
Lampiran 18 Dokumentasi Penulis	L-36