



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI KELAYAKAN
SAYUR SAWI PASCA-PASAR BERDASARKAN VISUAL WARNA
DAN GAS VOLATIL MENGGUNAKAN METODE RANDOM
FOREST**

**SUB JUDUL:
PENERAPAN METODE RANDOM FOREST UNTUK
KLASIFIKASI KELAYAKAN SAYUR SAWI PASCA PASAR
BERDASARKAN FITUR WARNA HSV DAN DATA GAS
VOLATIL
SKRIPSI**

Fadillah Yaseer

2203431045

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL
INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN SISTEM KLASIFIKASI KELAYAKAN
SAYUR SAWI PASCA-PASAR BERDASARKAN VISUAL
WARNA DAN GAS VOLATIL MENGGUNAKAN
METODE RANDOM FOREST**

SUB JUDUL:

**PENERAPAN METODE RANDOM FOREST CLASSIFIER
UNTUK KLASIFIKASI KELAYAKAN SAYUR SAWI PASCA
PASAR BERDASARKAN FITUR WARNA HSV DAN DATA
GAS VOLATIL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan

**Fadillah Yaseer
2203431045**

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL
INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIN NEGERI JAKARTA
2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Fadillah Yaseer

NIM : 2203431045

Tanda Tangan :

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Tanggal : 8 Juni 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas Akhir diajukan oleh

Nama : Fadillah Yaseer

NIM : 2203431045

Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Kelayakan Sayuran
Pasca-Pasar Berdasarkan Visual dan Kadar Gas
Menggunakan Metode Machine Learning Berbasis IoT

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas pada 15 Juni 2026 dan dinyatakan
LULUS.

Pembimbing : Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng

NIP. 199302232019032027

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 10 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T.

NIP. 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT / Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat, hidayah, serta karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Kelayakan Sayuran Pasca-Pasar Berdasarkan Visual dan Kadar Gas Menggunakan Metode Machine Learning Berbasis IoT” dengan baik dan tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat akademis untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa keberhasilan dalam melakukan penelitian hingga menyelesaikan penyusunan laporan tugas ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk, bantuan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Sulis Setiowati, S.pd., M. Eng, selaku Ketua Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri yang telah banyak mempermudah urusan administrasi akademik penulis dan selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta saran yang sangat berharga, konstruktif serta motivasi selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak/Ibu Dosen serta seluruh Staf Karyawan Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri yang telah membekali ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis selama masa perkuliahan.
4. Rekan Penelitian Jaka Elsa Prasetya yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Kedua Orang Tua tercinta dan keluarga besar, yang tiada henti memberikan doa, limpahan kasih sayang, dukungan moral maupun finansial, serta menjadi pilar kekuatan terbesar bagi penulis dalam menuntut ilmu.
6. Rekan-rekan seperjuangan angkatan 2022 di Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri, terima kasih atas dukungan, bantuan, ruang diskusi yang hangat, serta kebersamaan yang tak akan terlupakan.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung demi kelancaran penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan dan pengembangan riset ini ke depan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat nyata bagi institusi, masyarakat luas, serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang kecerdasan buatan.

New Taipei, 10 Juni 2026

Fadillah Yaseer

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Kelayakan Sayuran Pasca-Pasar Berdasarkan Visual dan Kadar Gas Menggunakan Metode Machine Learning Berbasis IoT

ABSTRAK

Kehilangan pangan (*food loss and waste*) pada komoditas sayuran pasca-pasar sering kali terjadi karena belum tersedianya alat objektif bagi para pedagang untuk menilai kelayakan konsumsi sayuran setelah jam operasional pasar berakhir. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem klasifikasi kelayakan dan kesegaran sawi hijau (*Brassica juncea L.*) secara non-destruktif berbasis fusi sensor multimodal dengan menggunakan algoritma *Random Forest Classifier*. Sistem ini mengintegrasikan fitur visual warna berupa nilai rata-rata Hue pada ruang warna HSV yang diekstraksi dari citra daun, serta data kimiawi berupa kadar gas volatil emisi tanaman melalui sensor MQ136 (deteksi hidrogen sulfida) dan MQ137 (deteksi amonia). Implementasi sistem dibangun pada platform *embedded Raspberry Pi 5* dan *Arduino Uno* yang diintegrasikan dalam sebuah *smart chamber* bervolume 5 liter. Pada tahap pra-pemrosesan, fluktuasi data sensor dihaluskan menggunakan metode *Exponential Moving Average (EMA)* dan distandarisasi menggunakan *Z-Score Scaling* sebelum dimasukkan ke dalam model klasifikasi. Pengujian sistem dilakukan secara *real-time* terhadap 30 sampel data yang terdiri atas 15 sampel segar dan 15 sampel layu. Hasil pengujian membuktikan bahwa model *Random Forest Classifier* memberikan performa yang optimal dengan capaian akurasi sebesar 93,33%, presisi mutlak sebesar 100%, *recall* sebesar 86,67%, spesifisitas sebesar 100%, dan *F1-Score* sebesar 92,86%. Dibandingkan dengan algoritma *Support Vector Machine (SVM)*, *Random Forest* dipilih karena terbukti lebih tahan terhadap gejala *overfitting* serta lebih interpretatif melalui analisis parameter internalnya. Berdasarkan analisis tingkat kepentingan fitur (*Feature Importance*), parameter sensor gas memberikan kontribusi yang lebih dominan sebesar 63,14% dibandingkan fitur visual yang berkontribusi sebesar 36,84%, dengan nilai *EMA MQ136* bertindak sebagai indikator tunggal terkuat mencapai 47,36%. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi besar dari sistem fusi visual-gas sebagai solusi teknologi yang objektif ilmiah dalam menekan angka kehilangan pangan pada rantai pasok sayuran.

Kata Kunci: *Fusi Multimodal, Hue, Random Forest, Sawi Hijau, Sensor Gas, Z-Score Scaling.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Design and Development of an IoT-Based Post-Market Vegetable Quality Classification System Using Visual and Gas Features via Machine Learning

ABSTRACT

Post-market food loss and waste in vegetable commodities often occur because traders lack an objective tool to assess the consumption feasibility of vegetables after market operating hours end. This study aims to design a non-destructive feasibility and freshness classification system for mustard greens (*Brassica juncea* L.) based on multimodal sensor fusion using the Random Forest Classifier algorithm. The system integrates visual color features in the form of Mean Hue values in the HSV color space extracted from leaf images, along with chemical data comprising volatile plant gas emissions via MQ136 (hydrogen sulfide detection) and MQ137 (ammonia detection) sensors. The system implementation is built on the embedded platforms of Raspberry Pi 5 and Arduino Uno, integrated within a 5-liter smart chamber. During the pre-processing stage, sensor data fluctuations are smoothed using the Exponential Moving Average (EMA) method and standardized using Z-Score Scaling before being fed into the classification model. Real-time system testing was conducted on 30 data samples consisting of 15 fresh samples and 15 wilted samples. The evaluation results prove that the Random Forest Classifier model provides optimal performance, achieving an accuracy of 93.33%, absolute precision of 100%, recall of 86.67%, specificity of 100%, and an F1-Score of 92.86%. Compared to the Support Vector Machine (SVM) algorithm, Random Forest was selected because it is proven to be more resistant to overfitting and more interpretative through its internal parameter analysis. Based on the Feature Importance analysis, the gas sensor parameters contributed more dominantly at 63.14% compared to the visual features which contributed 36.84%, with the EMA value of MQ136 acting as the strongest single indicator reaching 47.36%. The results of this study demonstrate the immense potential of the visual-gas fusion system as a scientifically objective technological solution to reduce food loss and waste in the vegetable supply chain.

Keywords: Gas Sensors, Hue, Mustard Greens, Multimodal Fusion, Random Forest, Z-Score Scaling.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
BAB II Tinjauan Pustaka	6
2.1 State of Art Penelitian	6
2.2 Sawi Hijau.....	9
2.2.1 Karakteristik Biologis Sawi Hijau	9
2.2.2 Pembusukan Sawi Hijau	11
2.3 Sensor Gas.....	12
2.3.1 MQ136	12
2.3.2 MQ137	13
2.3.3 Hubungan Sawi Hijau dengan MQ136 dan MQ137	15
2.4 Sistem Perangkat Keras.....	16
2.4.1 Raspberry Pi 5	16
2.4.2 Arduino Uno	17
2.4.3 Raspberry Cam.....	19
2.4.4. Modul LED RGB (NeoPixel WS2812).....	20
2.5 EMA Exponensial Mean Average	21
2.6 Pengolahan Citra Digital dan Ruang Warna HSV	23



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.6.1 Konsep Dasar Pengolahan Citra Digital	23
2.6.2 Keterbatasan Ruang Warna RGB (<i>Red, Green, Blue</i>).....	23
2.6.3 Anatomi dan Karakteristik Ruang Warna HSV.....	24
2.6.4 Formulasi Matematika Konversi RGB ke HSV	25
2.7 Machine Learning	28
2.8 Random Forest Classifier.....	30
2.9 Standarisasi Data (Z-Score / StandardScaler).....	32
2.10 Matriks Kebingungan (<i>Confusion Matrix</i>).....	32
BAB III Perancangan dan Realisasi.....	36
3.1 Rancangan Alat	36
3.1.1 Deskripsi Alat.....	36
3.1.2 Cara Kerja Alat.....	37
3.1.3 Spesifikasi Alat	38
3.1.4 Diagram Blok Sistem.....	39
3.2 Flowchat Perancangan Alat.....	41
3.3 Perancangan Perangkat Keras	44
3.3.1 Rancangan Alat	44
3.3.2 Realisasi Alat.....	45
3.4 Perluasan Ruang Warna HSV untuk Segmentasi Objek	47
3.5 Protokol Pengondisian Sinyal dan Penyelarasan Waktu	48
3.6 Perancangan Struktur Database / Penyimpanan Dataset Lokal	49
3.7 Perancangan Sistem Klasifikasi dan Pre-processing.....	52
3.7.1 Rekayasa Fitur Visual (Segmentasi & Ekstraksi Nilai <i>Hue</i>).....	52
3.7.2 Perancangan Pra-pemrosesan Data Numerik (Penskalaan Fitur).....	53
3.7.3 Konfigurasi Parameter Pelatihan Data	55
3.7.4 <i>Pre-processing</i> Data Numerik (Penskalaan Fitur)	56
3.7.5 Arsitektur dan Pipeline Pelatihan Model Machine Learning	57
3.7.6 Protokol Pengumpulan Dataset dan Pelabelan (<i>Ground Truth</i>)	57
3.8 Algoritma Inferensi Real-Time Sistem Multimodal.....	59
BAB IV Hasil dan Pembahasan	61
4.1 Prosedur Pengujian	61
4.1.1 Peralatan Uji.....	61



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.2 Langkah Pengujian.....	61
4.2 Analisis Karakteristik <i>Preheating</i> Sensor	62
4.2 Pengujian dan Analisis Performa Model Machine Learning Random Forest	63
4.2.1 Proses Pengambilan Data.....	63
4.2.2 Proses Training Model	70
4.2.3 Analisis Hasil Pra-pemrosesan Data (<i>Z-Score Scaling</i>).....	71
4.2.4 Analisis Akurasi Klasifikasi	76
4.2.5 Analisis <i>Confusion Matrix</i> dan Metrik Evaluasi	77
4.2.6 Analisis Kontribusi Sensor.....	81
4.2.7 Evaluasi Tingkat Kepentingan Fitur (<i>Feature Importance</i>).....	83
4.3 Pengujian dan Analisis Performa Model Berdasarkan Skenario Sensor.....	85
4.4 Pengujian dan Analisis Performa Model Alternatif SVM.....	88
4.4.1 Analisis dan Metrik Evaluasi	88
4.4.2 Komparasi metode Random Forest dengan SVM.....	89
4.5 Pengujian Sistem Secara Realtime.....	90
4.5.1 Skenario Pengujian.....	90
4.5.2 Hasil Pengujian Sawi Segar	91
4.5.3 Tabel Ringkasan dan Evaluasi Performa.....	96
4.5.4 Analisis Pembeda Fitur	97
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran.....	100
Daftar Pustaka	102
Lampiran	105



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sawi Hijau	10
Gambar 2.2 Sawi Layu.....	11
Gambar 2.3 Sensor MQ136.....	12
Gambar 2.4 Sensor MQ137.....	14
Gambar 2.5 Raspberry Pi 5	17
Gambar 2.6 Arduino Uno	19
Gambar 2.7 Raspberry Pi Cam	20
Gambar 2.8 Modul Led NeoPixel WS2812	21
Gambar 2.9 Visualiasi Tree Random Forest	31
Gambar 3.1 Gambar Diagram Blok Sistem	39
Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Alat.....	41
Gambar 3.3 Desain Alat Tampak Depan.....	45
Gambar 3.4 Desain Alat Tampak Samping	45
Gambar 3.5 Desain 3D Alat	45
Gambar 3.6 Gambar Wiring Sistem.....	46
Gambar 3.7 Desain Aktual Alat	46
Gambar 4.1 Kode Program Python StandarScaler	76

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian oleh (Yeni Minarti, 2023)	6
Tabel 2.2 Penelitian oleh (Xuexi Wang & Jun Liu, 2024)	7
Tabel 2.3 Penelitian oleh (Wieczorek & Jeleń (2019))	7
Tabel 2.4 Penelitian oleh (Amni, dkk. 2023)	8
Tabel 2.5 Penelitian oleh (Murad, dkk. 2022).....	8
Tabel 2.6 Spesifikasi MQ136.....	12
Tabel 2.7 Tabel Spesifikasi MQ137	14
Tabel 3.0.1 Tabel Struktur Kolom dan Tipe Data pada Basis Data.....	50
Tabel 4.1 Peralatan Uji.....	61
Tabel 4.2 Perbandingan Waktu dengan Pembacaan Sensor	62
Tabel 4.3 Sampel Pengambilan Data Sawi Segar	66
Tabel 4.4 Sampel Pengambilan Data Sawi Layu	67
Tabel 4.5 Tabel Pengambilan Data.....	68
Tabel 4.6 Tabel Sawi Segar	71
Tabel 4.7 Tabel Sawi Layu.....	71
Tabel 4.8 Matriks Hasil Standarisasi Data (Z-Score).....	74
Tabel 4.9 Nilai akurasi, presisi, recall pada model	76
Tabel 4.10 Matrik Kebingungan (Confusion Matrix) Data Uji.....	78
Tabel 4.11 Tingkat Kontribusi Fitur (Feature Importance)	82
Tabel 4.12 Nilai Koefisien Kepentingan Fitur (Feature Importance)	84
Tabel 4.13 Perbandingan Performa Model Random Forest Antar Skenario Sensor	85
Tabel 4.14 Koefisien Kepentingan Fitur (Feature Importance) Antar Skenario ...	87
Tabel 4.15 Matrix Evaluasi SVM.....	88
Tabel 4.16 Tabel Perbandingan Matrik Evaluasi Random Forest dan SVM.....	89
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Sawi Segar	91
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Sawi Layu	93
Tabel 4.19 Ringkasan Hasil Pegujian Real-Time.....	96
Tabel 4.20 Confusion Matrix	96
Tabel 4.21 Metrik Evaluasi	96
Tabel 4.22 Rata-Rata Nilai Sensor per Kondisi	97

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian sayuran merupakan salah satu pilar utama dalam sistem pangan nasional Indonesia, mengingat perannya yang tidak tergantikan dalam memenuhi kebutuhan gizi masyarakat sehari-hari. Sayuran menyediakan berbagai mikronutrien esensial, serat pangan, serta vitamin yang tidak dapat diperoleh secara optimal dari kelompok pangan lainnya. Namun di balik kontribusi strategisnya, komoditas sayuran menghadapi permasalahan struktural yang serius dalam rantai pasoknya, yakni tingginya angka kehilangan dan pemborosan pangan atau yang dikenal dengan istilah *food loss and waste* (FLW). Permasalahan ini tidak hanya berdampak pada aspek ekonomi bagi para petani dan pedagang, tetapi juga memiliki implikasi ekologis yang signifikan akibat timbunan sampah organik yang terus meningkat. Berdasarkan hasil kajian Bappenas yang dikutip dalam Badan Gizi Nasional, pada tahun 2021, Indonesia tercatat mengalami susut pangan yang mencapai 23 juta ton hingga 48 juta ton makanan setiap tahunnya, sebuah angka yang setara dengan 115–184 kg per kapita per tahun. Lebih jauh lagi, laporan dari Badan Pangan Nasional memproyeksikan bahwa pada tahun 2025, timbunan sampah makanan di Indonesia dapat mencapai angka yang mengkhawatirkan apabila tidak segera ditangani secara efisien dan sistematis.

Kehilangan pangan tidak terjadi secara merata di seluruh rantai pasok, melainkan terkonsentrasi pada titik-titik tertentu yang memerlukan intervensi lebih serius. Salah satu titik kritis yang kerap luput dari perhatian adalah fase pasca-pasar, yaitu kondisi saat sayuran yang tidak terjual harus diputuskan nasibnya oleh pedagang setelah jam operasional pasar berakhir. Pada fase ini, sayuran sisa pasar seringkali berakhir menjadi limbah bukan semata karena kondisinya sudah tidak layak konsumsi, melainkan karena penurunan kualitas visual yang membuat konsumen enggan membeli. Tanpa adanya alat ukur yang objektif untuk menentukan kelayakan konsumsi, banyak pedagang terpaksa membuang seluruh stok sisa mereka tanpa mampu memilah mana yang

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem multimodal klasifikasi kelayakan sawi hijau (*Brassica juncea L.*) berbasis fusi fitur visual dan gas menggunakan algoritma *Random Forest Classifier* pada ruang uji kotak dengan volume 5L, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan akademis sebagai berikut:

1. Sistem multimodal yang mengintegrasikan pemrosesan citra digital roda warna *Mean Hue H* dari kamera dengan respon multi-sensor kimiawi (*Exponential Moving Average* dari sensor MQ136 dan MQ137) berhasil dibangun dan diimplementasikan pada platform *edge computing* Raspberry Pi 5 dan Arduino Uno.
2. Algoritma *Random Forest Classifier*, pada fase pengujian *Real-Time* 30 sampel (15 sawi segar dan 15 sawi layu) terbukti menunjukkan akurasi sistem sebesar 93,33%, dengan nilai presisi 100%, recall 86,67%, spesifisitas 100%, dan F1-Score 92,86%.
3. Berdasarkan analisis *Feature Importance* dengan metode *Mean Decrease in Impurity* (MDI), parameter kimiawi EMA_MQ136 (Gas Sulfida) bertindak sebagai indikator keputusan primer dengan bobot kontribusi dominan sebesar 47,36%. Tingginya signifikansi sensor gas ini membuktikan bahwa deteksi dini senyawa volatil sulfida yang dilepaskan akibat degradasi biokimia internal tanaman jauh lebih sensitif bagi algoritma dalam memisahkan kelas segar dan layu. Sementara itu, sektor domain visual yang diwakili oleh *Mean Hue (H)* menempati posisi kedua dengan bobot pengaruh sebesar 36,84%, diikuti oleh Sensor EMA_MQ137 (Gas Amonia) sebesar 15,78%. Secara akumulatif, fusi multi-sensor kimiawi menyumbang bobot mayoritas sebesar 63,14% (47,36% + 15,78%). Kombinasi ini membuktikan pola fusi multimodal yang sangat ideal, di mana pembusukan jaringan awal sayur (*early rotting stage*) yang dicatat secara responsif oleh

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sensor gas, divalidasi dan diperkuat sebagai fitur komplementer (*back-up feature*) oleh pergeseran nilai derajat *Hue* pada visual daun sawi.

4. Analisis fitur menunjukkan bahwa sensor MQ136 dan nilai Mean_H citra merupakan fitur yang paling membedakan antara kondisi segar dan layu. Sawi layu memiliki nilai MQ136 rata-rata hampir dua kali lipat dibandingkan sawi segar, serta nilai Mean_H yang lebih rendah yang mencerminkan perubahan warna daun.
5. Berdasarkan hasil uji komparasi dengan model alternatif, *Random Forest* (RF) dipilih sebagai model arsitektur terbaik dibandingkan *Support Vector Machine* (SVM). Meskipun model SVM mencatatkan metrik angka yang sedikit lebih tinggi pada data uji (Akurasi 99,17%), nilai tersebut mengindikasikan adanya kerentanan *overfitting* pada dataset yang terbatas. Selain itu, SVM bersifat *black-box* (tidak menyediakan analisis kepentingan fitur), sedangkan *Random Forest* memberikan penyediaan data *Feature Importance* yang krusial untuk membedah kontribusi fisis tiap sensor.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem multimodal klasifikasi kelayakan sawi hijau (*Brassica juncea* L.) berbasis fusi fitur visual dan gas menggunakan algoritma *Random Forest Classifier*, maka dapat ditarik beberapa maka dapat diajukan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pengendalian Lingkungan Pengujian dan Kamar Uji (*Environmental Control*): Karakteristik fisis dari sensor gas semikonduktor oksida logam seperti MQ136 dan MQ137 memiliki kerentanan alami terhadap sifat sensitivitas silang (*cross-sensitivity*). Sensor-sensor ini sangat peka terhadap keberadaan senyawa volatil non-target di udara bebas, seperti uap alkohol, cairan pembersih (*cleaning agents*), parfum, atau asap eksternal, yang dapat memicu fluktuasi nilai tegangan keluaran secara semu. Oleh karena itu, disarankan agar proses pengujian dan akuisisi data di masa depan dilakukan di dalam ruang tertutup (*isolated testing chamber*) yang benar-bener steril, memiliki sirkulasi udara terkontrol (*proper venting system*), serta jauh dari paparan gas kontaminan lain guna menjamin kemurnian data pembusukan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

objek, serta kondisi pencahayaan saat pengambilan citra perlu distandarisasi lebih ketat, karena fluktuasi cahaya dapat mempengaruhi nilai Mean_H dan berkontribusi pada kesalahan klasifikasi..

2. Peningkatan Variasi dan Skala Dataset: Penelitian selanjutnya dapat memperluas cakupan dataset dengan menambahkan variasi jenis sayuran hijau komersial lainnya, pengujian pada skenario suhu penyimpanan yang berbeda (misalnya suhu ruang *versus* suhu lemari pendingin), serta memperbanyak jumlah objek fisik yang direkam guna meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap variansi anomali hayati sayuran.
3. Optimasi Algoritma dan Komparasi Model: Perlu dilakukan eksplorasi lanjutan terhadap proses pencarian parameter terbaik (*hyperparameter tuning*) seperti menggunakan metode *Grid Search* atau *Randomized Search* pada *Random Forest*, serta melakukan studi komparatif dengan algoritma klasifikasi atau *machine learning* lain (seperti *Gradient Boosting*) guna menganalisis efisiensi komputasi dan meminimalkan galat *False Negative* yang masih tersisa pada sistem.
4. Untuk meningkatkan nilai recall dari 86,67% menjadi lebih tinggi, disarankan agar data pelatihan diperbanyak dengan variasi kondisi sawi segar yang lebih beragam, terutama sampel dengan karakteristik sensor yang mendekati batas keputusan antara segar dan layu

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Pustaka

- Al Latif Ramadhani Said, Firmansyah, & Ihsan, M. (2023). Analisa teknikal dengan menggunakan indikator Exponential Moving Average pada mata uang EUR/USD di pasar valuta asing. *Jurnal Dinamika Manajemen*, 11(4), 193. (ISSN: 2338-123X)
- Amalia, A., Rahayu, A. E., Putra, E. S., & Ni'matuzzahroh, L. (2025). Evaluasi ketahanan electronic nose berbasis MOS terhadap kontaminasi silang senyawa volatil dalam identifikasi kualitas daging sapi. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, 4(4), 5137–5147. (P-ISSN: 2963-9298)
- Amni, Amni, dkk. (2023). Deteksi tingkat kematangan buah srikaya (*Annona squamosa* L.) berdasarkan sifat fisik dan kimia pada penyimpanan suhu ruang menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (K-NN) dan Random Forest.
- Atamba, I. K. (2023). *Classification of vegetable images using texture and color features* [Master's thesis]. Eastern Mediterranean University.
- Ayuningsih, K., Sari, Y. A., & Adikara, P. P. (2019). Klasifikasi citra makanan menggunakan HSV color moment dan local binary pattern dengan Naïve Bayes Classifier. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(4), 3166–3173. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Cahya, F. N., Pebrianto, R., & M, T. A. (2021). Klasifikasi buah segar dan busuk menggunakan ekstraksi fitur Hu-Moment, Haralick dan Histogram. *IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology)*, 6(1), 57–62. <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/ijcit>
- Düntsche, I., & Gediga, G. (2019). Confusion matrices and rough set data analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1229, 012055. <https://arxiv.org/abs/1902.01487>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Kurniati, F. T., & Pramana, D. (2023). Identifikasi objek menggunakan Random Forest dan multi-fitur. *Jurnal Sistem dan Informatika (JSI)*. (p-ISSN: 1858-473X)
- Minarti, Y. (2023). *Klasifikasi kesegaran sayur sawi berdasarkan citra HSV menggunakan metode K-Nearest Neighbor* [Tugas Akhir]. Universitas Mataram.
- Muzakir, A., Adi, K., & Kusumaningrum, R. (2024). *Penerapan konsep machine learning dan deep learning: Pendekatan ekspansi semantik untuk klasifikasi ujaran kebencian*. Undip Press.
- Oriana, L., Wati, A. D. S., Ramahdani, A. P., Safira, N. N., & Ismanto, E. (2025). Peningkatan Kinerja Model Random Forest untuk Deteksi Kecurangan Kartu Kredit Menggunakan RandomizedSearchCV. *Jurnal Fasilkom*, 15(2), 229-237.
- Palumbo, M., Attolico, G., Capozzi, V., Cozzolino, R., Corvino, A., de Chiara, M. L. V., Pace, B., Pelosi, S., Ricci, I., Romaniello, R., & Cefola, M. (2022). Emerging postharvest technologies to enhance the shelf-life of fruit and vegetables: An overview. *Foods*, 11(23), 3925. <https://doi.org/10.3390/foods11233925>
- Pracaya. (2011). *Bertanam sayur organik*. Penebar Swadaya.
- Putra, J. W. G. (2020). *Pengenalan konsep pembelajaran mesin dan deep learning* (Edisi 1.4). Diterbitkan mandiri. <https://wiragotama.github.io/resources/ebook/intro-to-ml-secured.pdf>
- Sathyanarayanan, S., & Tantri, B. R. (2024). Confusion matrix-based performance evaluation metrics. *African Journal of Biomedical Research*, 27(4s), 4023–4031. <https://doi.org/10.53555/AJBR.v27i4S.4345>
- Seilov, S., Baydeldinov, M., Abildinov, D., Zhursinbek, B., Shingissov, D., & Ayub, M. S. (2025). Electronic nose and neural network-based monitoring of vegetable freshness in storage conditions. *Journal of Robotics and Control*, 6(6), 2834. <https://doi.org/10.18196/jrc.v6i6.28505>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Seilov, S., Abildinov, D., Sutula, M. Y., Nurzhaubayev, A., Baydeldinov, M., & Ayub, M. S. (2025). Smart innovations in food spoilage detection: A focus on electronic nose, machine learning and IoT for perishable foods. *Journal of Robotics and Control*, 6(3), 1142. <https://doi.org/10.18196/jrc.v6i3.25792>
- Fahrudin, F. (2009). *Respon tanaman sawi (Brassica juncea L.) terhadap pemberian pupuk kompos limbah solid kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq)* [Skripsi]. Universitas Medan Area.
- Liu, Y., Zhang, H., Umashankar, S., Liang, X., Lee, H. S., Swarup, S., & Ong, C. N. (2018). Characterization of plant volatiles reveals distinct metabolic profiles and pathways among 12 Brassicaceae vegetables. *Metabolites*, 8(4), Article 94. <https://doi.org/10.3390/metabo8040094>
- Microchip Technology Inc. (2018). *ATmega328P datasheet*. <https://www.microchip.com/>
- Murad, Sukmawati, Ansar, Sabani, R., & Hidayat, S. (2022). Sistem pendeteksi kerusakan buah mangga menggunakan sensor gas dengan metode DCS-LCA. *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 3(4), 186-194.
- Raspberry Pi Foundation. (2026). *Raspberry Pi 5 product brief*. <https://www.raspberrypi.com/>
- Sunarjono, H. (2004). *Bertanam sawi dan selada*. Penebar Swadaya.
- Wang, X., & Liu, J. (2024). Vegetable disease detection using an improved YOLOv8 algorithm in the greenhouse plant environment. *Scientific Reports*, 14, 4261. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54540-9>
- Wieczorek, M. N., & Jeleń, H. H. (2019). Volatile compounds of selected raw and cooked *Brassica* vegetables. *Molecules*, 24(3), 391. <https://doi.org/10.3390/molecules24030391>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran

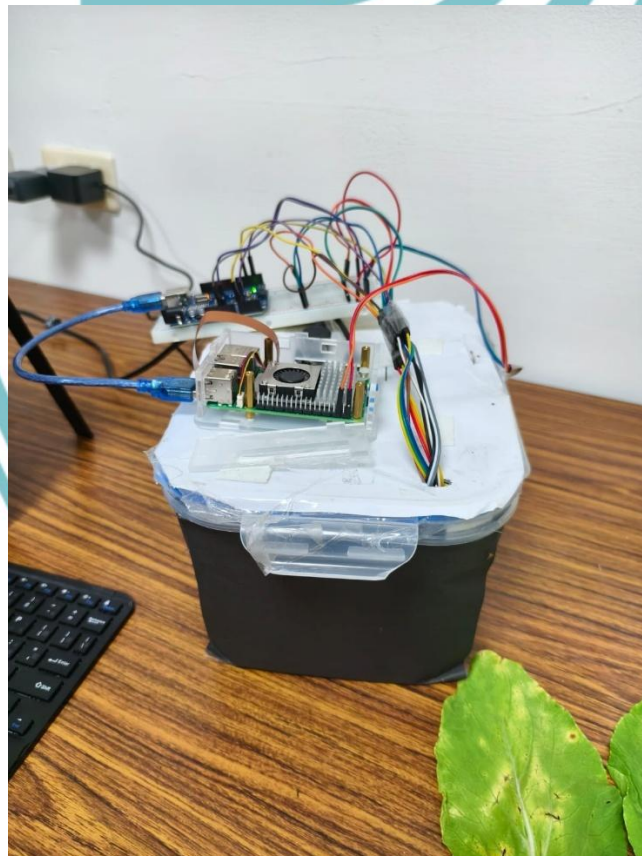
Lampiran 1. Daftar Riwayat Hidup



Fadillah Yaseer

Lulus dari SDIT Nurul Fajri pada tahun 2015, SMPN 1 Cikarang Barat pada tahun 2018, dan SMK Mitra Industri MM2100 pada tahun 2021. Lalu melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta pada tahun 2022 jurusan Teknik Elektro, Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri. Saat ini penulis mengikuti program *Double Degree 3+1* pada Universitas St. John bidang *Smart Construction* di Taiwan.

Lampiran 2. Gambar Pengambilan Data



Lampiran 3. Kode Program Arduino

```
#include <DHT.h>
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

#include <math.h>

// ===== DHT =====

#define DHTPIN 2

#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// ===== LED =====

#define PIN_LED 4

#define JUMLAH_LED 8

Adafruit_NeoPixel strip(JUMLAH_LED, PIN_LED, NEO_GRB +
NEO_KHZ800);

// ===== MQ-136 (H2S) =====

#define MQ136_PIN A1

#define RL_136 1.0

#define Ro_136 4.793

#define m_136 -0.271

#define b_136 0.402

// ===== MQ-137 (NH3) =====

#define MQ137_PIN A0

#define RL_137 10.0

#define Ro_137 9.102

#define m_137 -0.243

#define b_137 0.323
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
// ===== SMOOTHING =====  
  
const int numReadings = 10;  
  
float readings136[numReadings];  
  
float readings137[numReadings];  
  
int readIndex = 0;  
  
float total136 = 0, total137 = 0;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  
  dht.begin();  
  
  strip.begin();  
  strip.show();  
  
  // ===== LED PUTIH SELALU NYALA =====  
  for (int i = 0; i < JUMLAH_LED; i++) {  
    strip.setPixelColor(i, strip.Color(255, 255, 255));  
  }  
  strip.show();  
  
  // init buffer smoothing  
  for (int i = 0; i < numReadings; i++) {  
    readings136[i] = 0;  
    readings137[i] = 0;  
  }  
  
  Serial.println("System Ready (AUTO STREAM MODE)");
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
}  
  
void loop() {  
  
    // ===== MQ136 =====  
  
    float vrl136 = analogRead(MQ136_PIN) * (5.0 / 1023.0);  
    if (vrl136 <= 0) vrl136 = 0.01;  
    if (vrl136 >= 4.95) vrl136 = 4.95; // PENGAMAN 1: Batasi agar VRL tidak murni  
    5V (mencegah RS = 0)  
  
    float rs136 = ((5.0 / vrl136) - 1.0) * RL_136;  
    float ratio136 = rs136 / Ro_136;  
    if (ratio136 <= 0) ratio136 = 0.001; // PENGAMAN 2: Cegah nilai <= 0 sebelum  
    di-log10  
  
    float ppm136 = pow(10, ((log10(ratio136) - b_136) / m_136));  
  
    // PENGAMAN 3: Jika hasilnya nan atau inf karena error hardware, paksa jadi 0  
    atau nilai aman  
    if (isnan(ppm136) || isinf(ppm136)) {  
        ppm136 = 0.0;  
    }  
  
    // ===== MQ137 =====  
  
    float vrl137 = analogRead(MQ137_PIN) * (5.0 / 1023.0);  
    if (vrl137 <= 0) vrl137 = 0.01;  
    if (vrl137 >= 4.95) vrl137 = 4.95; // PENGAMAN 1  
  
    float rs137 = ((5.0 / vrl137) - 1.0) * RL_137;
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
float ratio137 = rs137 / Ro_137;

if (ratio137 <= 0) ratio137 = 0.001; // PENGAMAN 2

float ppm137 = pow(10, ((log10(ratio137) - b_137) / m_137));

// PENGAMAN 3
if (isnan(ppm137) || isinf(ppm137)) {
    ppm137 = 0.0;
}

// ===== SMOOTHING =====
total136 -= readings136[readIndex];
total137 -= readings137[readIndex];

readings136[readIndex] = ppm136;
readings137[readIndex] = ppm137;

total136 += readings136[readIndex];
total137 += readings137[readIndex];

readIndex = (readIndex + 1) % numReadings;

float avg136 = total136 / numReadings;
float avg137 = total137 / numReadings;

// ===== DHT =====
float temperature = dht.readTemperature();
float humidity = dht.readHumidity();
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
if (isnan(temperature)) temperature = -1;
```

```
if (isnan(humidity)) humidity = -1;
```

```
unsigned long ts = millis();
```

```
// ===== AUTO STREAM OUTPUT =====
```

```
Serial.print(ts);
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.print(avg136, 2);
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.print(avg137, 2);
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.print(temperature, 1);
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.println(humidity, 1);
```

```
delay(1000); // 1 detik sampling
```

```
}
```

Lampiran 4. Kode Program Ambil Data di Python

```
import cv2
```

```
import numpy as np
```

```
import serial
```

```
import time
```

```
import os
```

```
import warnings
```

```
import threading
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
import csv

from datetime import datetime

warnings.filterwarnings("ignore", category=UserWarning)

# =====
# INITIAL CONFIGURATION
# =====

SERIAL_PORT = "/dev/ttyUSB0"
BAUDRATE = 115200
EMA_ALPHA = 0.3
IMAGE_FOLDER = "saved_images"
LOG_CSV_PATH = "data_log_sawi.csv"
if not os.path.exists(IMAGE_FOLDER):
    os.makedirs(IMAGE_FOLDER)
TEMP_IMAGE_PATH = "temp_frame.jpg"
latest_sensor_data = None
ema = {"136": 0.0, "137": 0.0}
is_first_run = True
running = True
# =====
# SERIAL INITIALIZATION
# =====

def init_serial(port, baud):

    print(f'Connecting to serial port ({port})...')

    try:

        ser = serial.Serial(port, baud, timeout=0.1)

        time.sleep(2)

        ser.flushInput()
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

print("âœ… Serial connected successfully!")

return ser

except Exception as e:

    print(f'œ Failed serial connection: {e}')

    exit()

# =====
# CSV LOG INITIALIZATION
# =====

def init_csv_log(file_path):

    if not os.path.exists(file_path):

        with open(file_path, mode='w', newline="", encoding='utf-8') as f:

            writer = csv.writer(f, delimiter=';')

            writer.writerow([

                "Realtime",

                "Arduino Timestamp",

                "MQ136 Raw",

                "MQ136 EMA",

                "MQ137 Raw",

                "MQ137 EMA",

                "Mean H",

                "Mean S",

                "Mean V",

                "Image Filename"

            ])

    print(f' CSV created: {file_path}')

# =====
# SERIAL THREAD
# =====

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
def serial_reader_thread(ser):  
    global latest_sensor_data, ema, is_first_run, running  
    while running:  
        try:  
            if ser.in_waiting > 0:  
                line = ser.readline().decode(errors='ignore').strip()  
                if not line:  
                    continue  
                parts = line.split(",")  
                if len(parts) == 5:  
                    try:  
                        latest_sensor_data = {  
                            "timestamp": int(parts[0]),  
                            "mq136": float(parts[1]),  
                            "mq137": float(parts[2]),  
                            "temperature": float(parts[3]),  
                            "humidity": float(parts[4])  
                        }  
                    # EMA  
                    if is_first_run:  
                        ema["136"] = latest_sensor_data["mq136"]  
                        ema["137"] = latest_sensor_data["mq137"]  
                        is_first_run = False  
                    else:  
                        ema["136"] = (  
                            EMA_ALPHA * latest_sensor_data["mq136"]  
                        ) + ((1 - EMA_ALPHA) * ema["136"])
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

ema["137"] = (
    EMA_ALPHA * latest_sensor_data["mq137"]
) + ((1 - EMA_ALPHA) * ema["137"])

except:
    pass

time.sleep(0.01)
except Exception as e:
    print(f'â€š ĩ, □ Serial Thread Error: {e}')
    time.sleep(1)

# =====
# CAMERA PROCESS
# =====

def capture_and_process_frame(save_image=True):
    cmd = (
        f'LIBCAMERA_LOG_LEVELS=3 rpicas-still -o {TEMP_IMAGE_PATH}
'
        f'--width 2592 --height 1944 -t 50 --nopreview > /dev/null 2>&1"
    )
    ret_code = os.system(cmd)
    if ret_code != 0 or not os.path.exists(TEMP_IMAGE_PATH):
        print(" Camera error")
        return 0, 0, 0, None

    full_frame = cv2.imread(TEMP_IMAGE_PATH)

    if os.path.exists(TEMP_IMAGE_PATH):
        os.remove(TEMP_IMAGE_PATH)

    if full_frame is None:
        return 0, 0, 0, None

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

frame = cv2.resize(full_frame, (640, 480))

timestamp_str = datetime.now().strftime("%Y%m%d_%H%M%S")

filename = f"sawi_{timestamp_str}.jpg"

# Simpan foto hanya jika save_image=True

if save_image:
    save_path = os.path.join(IMAGE_FOLDER, filename)
    cv2.imwrite(save_path, frame)
else:
    filename = None

# ROI
h_img, w_img = frame.shape[:2]
x1, x2 = int(w_img * 0.1), int(w_img * 0.9)
y1, y2 = int(h_img * 0.1), int(h_img * 0.9)

roi = frame[y1:y2, x1:x2]
hsv = cv2.cvtColor(roi, cv2.COLOR_BGR2HSV)
lower_green = np.array([35, 50, 50])
upper_green = np.array([85, 255, 255])
mask = cv2.inRange(hsv, lower_green, upper_green)
green_pixels = hsv[mask > 0]

if green_pixels.size > 0:
    mean_h = float(np.mean(green_pixels[:, 0]))
    mean_s = float(np.mean(green_pixels[:, 1]))
    mean_v = float(np.mean(green_pixels[:, 2]))
else:
    mean_h, mean_s, mean_v = 0, 0, 0

return mean_h, mean_s, mean_v, filename

# =====

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
# SAVE CSV

# =====

def save_to_csv(data, ema_val, m_h, m_s, m_v, filename):

    now_str = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")

    with open(LOG_CSV_PATH, mode='a', newline="", encoding='utf-8') as f:

        writer = csv.writer(f, delimiter=';')

        writer.writerow([

            now_str,

            data['timestamp'],

            data['mq136'],

            ema_val['136'],

            data['mq137'],

            ema_val['137'],

            data['temperature'],

            data['humidity'],

            f'{m_h:.2f}',

            f'{m_s:.2f}',

            f'{m_v:.2f}',

            filename

        ])

# =====

# TERMINAL LOG

# =====

def log_to_terminal(data, ema_val, m_h, m_s, m_v, filename=None):

    print("\n=====")

    print(f"Timestamp : {data['timestamp']} ms")

    if filename:
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

print(f"Image : {filename}")
print("\n=== GAS SENSOR ===")
print(f"MQ136 : {data['mq136']:.2f} -> EMA {ema_val['136']:.2f}")
print(f"MQ137 : {data['mq137']:.2f} -> EMA {ema_val['137']:.2f}")
print("\n=== ENVIRONMENT ===")
print(f"Temperature : {data['temperature']:.1f} Â°C")
print(f"Humidity : {data['humidity']:.1f} %")
print("\n=== HSV FEATURES ===")
print(f'H : {m_h:.2f}')
print(f'S : {m_s:.2f}')
print(f'V : {m_v:.2f}')
print("=====")
# =====
# MAIN
# =====
def main():
    global latest_sensor_data, ema, running
    ser = init_serial(SERIAL_PORT, BAUDRATE)

    init_csv_log(LOG_CSV_PATH)
    t = threading.Thread(
        target=serial_reader_thread,
        args=(ser,),
        daemon=True
    )
    t.start()

    print("System Ready")
    print("Ketik '/' untuk capture & simpan, 'o' untuk cek saja ('exit' untuk keluar)")

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
while True:
    try:
        user_input = input(
            "\nKetik '/' untuk capture & simpan, 'o' untuk cek saja ('exit' untuk
keluar): "
        ).strip()
        if user_input.lower() == 'exit':
            break
        # === CEK PARAMETER TANPA RECORD MAUPUN FOTO ===
        if user_input == 'o':

            if latest_sensor_data is None:
                print("Data sensor belum tersedia")
                continue
            print("Cek parameter saja (tanpa simpan CSV)...")
            snap_sensor = latest_sensor_data.copy()
            snap_ema = ema.copy()
            mean_h, mean_s, mean_v, _ = capture_and_process_frame(
                save_image=False
            )
            log_to_terminal(
                snap_sensor,
                snap_ema,
                mean_h,
                mean_s,
                mean_v,
                None
            )
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
print("HSV + GAS dicek (tidak disimpan)")

"""if user_input == 'o':

    if latest_sensor_data is None:

        print("Data sensor belum tersedia")

        continue

    print("Cek parameter saja (tanpa foto, tanpa CSV)...")

    snap_sensor = latest_sensor_data.copy()
    snap_ema = ema.copy()
    # TIDAK ambil foto
    mean_h, mean_s, mean_v = 0, 0, 0
    filename = None
    # Hanya log di terminal
    log_to_terminal(
        snap_sensor,
        snap_ema,
        mean_h,
        mean_s,
        mean_v,
        filename
    )
    print("Parameter ditampilkan (tidak disimpan ke CSV maupun foto)")

# === CAPTURE & RECORD ===

if user_input == '/':

    if latest_sensor_data is None:

        print(" Data sensor belum tersedia")

        continue

    print(" Processing & saving...")
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
snap_sensor = latest_sensor_data.copy()

snap_ema = ema.copy()

m_h, m_s, m_v, filename = capture_and_process_frame()

if filename is None:

    print("âœƒ Gagal capture gambar")

    continue

save_to_csv(

    snap_sensor,

    snap_ema,

    m_h,

    m_s,

    m_v,

    filename

)

log_to_terminal(

    snap_sensor,

    snap_ema,

    m_h,

    m_s,

    m_v,

    filename

)

print("âœƒ... Data tersimpan ke CSV")

except KeyboardInterrupt:

    break

except Exception as e:

    print(f" Error: {e}")

running = False
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
time.sleep(0.2)
ser.close()
print(" Program terminated")
if __name__ == "__main__":
    main()
```

Lampiran 5. Kode Program Training Dataset di Python

```
import os
import joblib
import csv
import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.metrics import (
    accuracy_score,
    precision_score,
    recall_score,
    f1_score,
    roc_auc_score,
    confusion_matrix,
    roc_curve,
)
import sys
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
sys.stdout.reconfigure(encoding='utf-8')

# =====
# 1. LOAD, CLEAN, & MERGE DATASET REVISI
# =====

FILE_SEGAR = "segar_data_log_sawi_REVISI.csv"
FILE_LAYU = "layu_data_log_sawi_REVISI.csv"

print(" Memuat dan menyatukan dataset...")

if not os.path.exists(FILE_SEGAR) or not os.path.exists(FILE_LAYU):
    print(" Error: Pastikan file 'segar_data_log_sawi_REVISI.csv' dan
'layu_data_log_sawi_REVISI.csv' ada di folder ini!")
    exit()

df_segar = pd.read_csv(FILE_SEGAR, delimiter=";")
df_layu = pd.read_csv(FILE_LAYU, delimiter=";")

df_segar.columns = [c.strip() for c in df_segar.columns]
df_layu.columns = [c.strip() for c in df_layu.columns]

df_segar = df_segar[df_segar["Mean_H"] > 0]
df_layu = df_layu[df_layu["Mean_H"] > 0]

df_segar["kesegaran"] = 1
df_layu["kesegaran"] = 0

df_all = pd.concat([df_segar, df_layu], ignore_index=True)
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
X = df_all[["MQ136 EMA", "MQ137 EMA", "Mean_H"]].copy()
X.columns = ["EMA_MQ136", "EMA_MQ137", "H"]
y = df_all[["kesegaran"]]

print(f' Dataset Berhasil Disatukan & Dibersihkan!')
print(f' - Total Sawi Segar (Label 1): {len(df_segara)} sampel")
print(f' - Total Sawi Layu (Label 0): {len(df_layu)} sampel")
print(f' - Total Keseluruhan Data : {len(df_all)} sampel")

# =====
# 2. SPLITTING DATA (TRAIN=60%, VAL=20%, TEST=20%)
# =====

X_temp, X_test, y_temp, y_test = train_test_split(
    X, y, test_size=0.20, random_state=42, stratify=y
)

X_train, X_val, y_train, y_val = train_test_split(
    X_temp, y_temp, test_size=0.25, random_state=42, stratify=y_temp
)

print(f'\n Distribusi Pembagian Data:")
print(f' - Data Train : {len(X_train)} sampel (60%)")
print(f' - Data Validation: {len(X_val)} sampel (20%)")
print(f' - Data Test : {len(X_test)} sampel (20%)")

# =====
# 3. SCALING DATA
# =====
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
scaler = StandardScaler()
X_train_scaled = scaler.fit_transform(X_train)
X_val_scaled = scaler.transform(X_val)
X_test_scaled = scaler.transform(X_test)

joblib.dump(scaler, "scaler_gas.pkl")
print("\n Scaler standardisasi berhasil disimpan sebagai 'scaler_gas.pkl'")

# =====
# 4. FUNGSI EVALUASI & PLOTTING METRIK GANDA
# =====

def evaluasi_lengkap(model, X_data, y_data, nama_model, tipe_data):
    y_pred = model.predict(X_data)

    if hasattr(model, "predict_proba"):
        y_prob = model.predict_proba(X_data)[: , 1]
    else:
        y_prob = model.decision_function(X_data)

    acc = accuracy_score(y_data, y_pred)
    prec = precision_score(y_data, y_pred, zero_division=0)
    rec = recall_score(y_data, y_pred, zero_division=0)
    f1 = f1_score(y_data, y_pred, zero_division=0)
    roc_auc = roc_auc_score(y_data, y_prob)

    print(f"\n[ {tipe_data} DATA PERFORMANCE - {nama_model} ]")
    print(f" Accuracy : {acc:.4f} | Precision : {prec:.4f}")
    print(f" Recall   : {rec:.4f} | F1-Score : {f1:.4f}")
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

print(f" ROC AUC : {roc_auc:.4f}")

cm = confusion_matrix(y_data, y_pred)

return cm, y_prob

def plot_metrik(cm_val, y_prob_val, cm_test, y_prob_test, y_val_gt, y_test_gt,
nama_model):

    fig, ax = plt.subplots(2, 2, figsize=(12, 10))

    sns.heatmap(cm_val, annot=True, fmt="d", cmap="Blues", ax=ax[0, 0],
                xticklabels=["Layu (0)", "Segar (1)"], yticklabels=["Layu (0)", "Segar
(1)"])

    ax[0, 0].set_title(f"CM Validation - {nama_model}")
    ax[0, 0].set_ylabel("Aktual")
    ax[0, 0].set_xlabel("Prediksi")

    sns.heatmap(cm_test, annot=True, fmt="d", cmap="Greens", ax=ax[0, 1],
                xticklabels=["Layu (0)", "Segar (1)"], yticklabels=["Layu (0)", "Segar
(1)"])

    ax[0, 1].set_title(f"CM Test - {nama_model}")
    ax[0, 1].set_ylabel("Aktual")
    ax[0, 1].set_xlabel("Prediksi")

    fpr_v, tpr_v, _ = roc_curve(y_val_gt, y_prob_val)

    ax[1, 0].plot(fpr_v, tpr_v, color="orange", label=f"Val AUC =
{roc_auc_score(y_val_gt, y_prob_val):.4f}")

    ax[1, 0].plot([0, 1], [0, 1], "k--")

    ax[1, 0].set_title(f"ROC Validation - {nama_model}")
    ax[1, 0].set_xlabel("False Positive Rate")
  
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

ax[1, 0].set_ylabel("True Positive Rate")
ax[1, 0].legend(loc="lower right")

fpr_t, tpr_t, _ = roc_curve(y_test_gt, y_prob_test)
ax[1, 1].plot(fpr_t, tpr_t, color="red", label=f"Test AUC =
{roc_auc_score(y_test_gt, y_prob_test):.4f}")
ax[1, 1].plot([0, 1], [0, 1], "k--")
ax[1, 1].set_title(f"ROC Test - {nama_model}")
ax[1, 1].set_xlabel("False Positive Rate")
ax[1, 1].set_ylabel("True Positive Rate")
ax[1, 1].legend(loc="lower right")

plt.suptitle(f"EVALUASI AKHIR MODEL: {nama_model.upper()}",
fontsize=16, fontweight='bold')
plt.tight_layout()
plt.show()

# =====
# 5. RANDOM FOREST TRAINING & EVALUATION
# =====

print("\n" + "="*25 + " RANDOM FOREST TRAINING " + "="*25)
rf_model = RandomForestClassifier(n_estimators=100, random_state=42)
rf_model.fit(X_train_scaled, y_train)

cm_rf_val, prob_rf_val = evaluasi_lengkap(rf_model, X_val_scaled, y_val,
"Random Forest", "VALIDATION")

cm_rf_test, prob_rf_test = evaluasi_lengkap(rf_model, X_test_scaled, y_test,
"Random Forest", "TEST")

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
plot_metrik(cm_rf_val, prob_rf_val, cm_rf_test, prob_rf_test, y_val, y_test,
"Random Forest")
```

```
importances = rf_model.feature_importances_

df_importance = pd.DataFrame({"Fitur": X.columns, "Importance Coefficient":
importances})

df_importance = df_importance.sort_values(by="Importance Coefficient",
ascending=False).reset_index(drop=True)

print("\n--- Feature Importance (Kontribusi Sensor ke Random Forest) ---")
print(df_importance)

joblib.dump(rf_model, "model_rf_gas.pkl")
print(" File Model 'model_rf_gas.pkl' sukses disimpan.")

print("\n Seluruh rangkaian pelatihan model selesai dengan sukses!")
```

Lampiran 6. Kode Program Uji Model di Python

```
import cv2
import numpy as np
import serial
import time
import os
import warnings
import threading
import csv

import joblib # Tambahan untuk load model Machine Learning

from datetime import datetime
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
warnings.filterwarnings("ignore", category=UserWarning)
```

```
# =====
```

```
# INITIAL CONFIGURATION
```

```
# =====
```

```
SERIAL_PORT = "/dev/ttyUSB0"
```

```
BAUDRATE = 115200
```

```
EMA_ALPHA = 0.3
```

```
IMAGE_FOLDER = "saved_images"
```

```
LOG_CSV_PATH = "data_log_sawi.csv"
```

```
if not os.path.exists(IMAGE_FOLDER):
```

```
    os.makedirs(IMAGE_FOLDER)
```

```
TEMP_IMAGE_PATH = "temp_frame.jpg"
```

```
latest_sensor_data = None
```

```
ema = {"136": 0.0, "137": 0.0}
```

```
is_first_run = True
```

```
running = True
```

```
# =====
```

```
# LOAD MACHINE LEARNING MODEL
```

```
# =====
```

```
print(" Memuat Model AI...")
```

```
try:
```

```
    scaler = joblib.load("scaler_gas.pkl")
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

rf_model = joblib.load("model_rf_gas.pkl")
print(" Model Random Forest dan Scaler berhasil dimuat!")

except Exception as e:
    print(f' Gagal memuat model AI: {e}')
    print("Pastikan file 'scaler_gas.pkl' dan 'model_rf_gas.pkl' ada di folder ini!")
    exit()

# =====
# SERIAL INITIALIZATION
# =====

def init_serial(port, baud):
    print(f' Connecting to serial port ({port})...')
    try:
        ser = serial.Serial(port, baud, timeout=0.1)
        time.sleep(2)
        ser.flushInput()
        print(" Serial connected successfully!")
        return ser
    except Exception as e:
        print(f' Failed serial connection: {e}')
        exit()

# =====
# CSV LOG INITIALIZATION (Sudah Ditambah Kolom Prediksi)
# =====

def init_csv_log(file_path):
    if not os.path.exists(file_path):
        with open(file_path, mode='w', newline='') as f:

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
writer = csv.writer(f, delimiter=',')

writer.writerow([

    "Realtime", "Arduino Timestamp",

    "MQ136 Raw", "MQ136 EMA",

    "MQ137 Raw", "MQ137 EMA",

    "Temp", "Hum",

    "Mean_H", "Mean_S", "Mean_V",

    "Image_File", "Prediksi_Label", "Status" # <-- REVISI: Tambah kolom

])

print(f" Created new log file: {file_path}")

# =====
#
# =====

def capture_and_process_frame():

    os.system(f'rpicam-still -o {TEMP_IMAGE_PATH} -t 1 --npreview --width
1080 --height 900")

    frame = cv2.imread(TEMP_IMAGE_PATH)

    if frame is None:

        print(" Gagal membaca gambar dari kamera")

        return None, None, None, None

    frame = cv2.resize(frame, (1080, 900))

    frame_blur = cv2.GaussianBlur(frame, (5, 5), 0)

    hsv = cv2.cvtColor(frame_blur, cv2.COLOR_BGR2HSV)

    h, s, v = cv2.split(hsv)
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
# Rentang warna HSV untuk daun hijau (Sesuai eksperimenmu)
```

```
lower_green = np.array([35, 50, 50])
```

```
upper_green = np.array([85, 255, 255])
```

```
mask = cv2.inRange(hsv, lower_green, upper_green)
```

```
pixel_daun = cv2.countNonZero(mask)
```

```
if pixel_daun == 0:
```

```
    print("Tidak ada area daun terdeteksi (Masking gagal)")
```

```
    mean_h, mean_s, mean_v = 0.0, 0.0, 0.0
```

```
else:
```

```
    mean_h = cv2.mean(h, mask=mask)[0]
```

```
    mean_s = cv2.mean(s, mask=mask)[0]
```

```
    mean_v = cv2.mean(v, mask=mask)[0]
```

```
timestamp = datetime.now().strftime("%Y%m%d_%H%M%S")
```

```
filename = f"sawi_{timestamp}.jpg"
```

```
filepath = os.path.join(IMAGE_FOLDER, filename)
```

```
cv2.imwrite(filepath, frame)
```

```
return round(mean_h, 2), round(mean_s, 2), round(mean_v, 2), filename
```

```
# =====
```

```
# THREAD: BACA SERIAL ARDUINO TERUS MENERUS
```

```
# =====
```

```
def read_serial_data(ser):
```

```
    global latest_sensor_data, ema, is_first_run, running
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

while running:

```
if ser.in_waiting > 0:
```

```
    try:
```

```
        line = ser.readline().decode('utf-8').strip()
```

```
        if not line or "System Ready" in line:
```

```
            continue
```

```
        parts = line.split(';')
```

```
        if len(parts) == 7:
```

```
            ard_ts = parts[0]
```

```
            raw_136 = float(parts[1])
```

```
            raw_137 = float(parts[3])
```

```
            temp = float(parts[5])
```

```
            hum = float(parts[6])
```

```
            if is_first_run:
```

```
                ema["136"] = raw_136
```

```
                ema["137"] = raw_137
```

```
                is_first_run = False
```

```
            else:
```

```
                ema["136"] = (EMA_ALPHA * raw_136) + ((1 - EMA_ALPHA) *
ema["136"])
```

```
                ema["137"] = (EMA_ALPHA * raw_137) + ((1 - EMA_ALPHA) *
ema["137"])
```

```
        latest_sensor_data = {
```

```
            "ts": ard_ts,
```

```
            "raw136": raw_136,
```

```
            "raw137": raw_137,
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

        "temp": temp,
        "hum": hum
    }

    except Exception as e:

        pass

    time.sleep(0.05)

# =====
# SAVE TO CSV (Sudah Direvisi Untuk Menyimpan Hasil AI)
# =====
def save_to_csv(sensor, snap_ema, m_h, m_s, m_v, filename, prediksi, status):
    now_str = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
    row = [
        now_str, sensor["ts"],
        sensor["raw136"], snap_ema["136"],
        sensor["raw137"], snap_ema["137"],
        sensor["temp"], sensor["hum"],
        m_h, m_s, m_v, filename,
        prediksi, status # <-- REVISI: Masukkan hasil prediksi ke row CSV
    ]
    with open(LOG_CSV_PATH, mode='a', newline='') as f:
        writer = csv.writer(f, delimiter=';')
        writer.writerow(row)

# =====
# MAIN PROGRAM
# =====

def main():

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

global running, latest_sensor_data, ema

init_csv_log(LOG_CSV_PATH)

ser = init_serial(SERIAL_PORT, BAUDRATE)

t = threading.Thread(target=read_serial_data, args=(ser,), daemon=True)

t.start()

print("\n System Ready - AI Engine Active")

while True:

try:

user_input = input("\n Ketik 'R' untuk uji sawi ('exit' untuk keluar):
").strip().upper()

if user_input == 'EXIT':

break

if user_input == 'R':

if latest_sensor_data is None:

print(" Data sensor gas dari Arduino belum tersedia, tunggu sebentar...")

continue

print(" Mengambil gambar dan menganalisis...")

snap_sensor = latest_sensor_data.copy()

snap_ema = ema.copy()

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

m_h, m_s, m_v, filename = capture_and_process_frame()

if filename is None or m_h == 0.0:

    print(" Analisis dibatalkan karena gambar gagal diproses atau daun
    tidak terdeteksi.")

    continue

# =====
# INFERENSI MACHINE LEARNING (URUTAN SUDAH
DIPERBAIKI SIKRON TRAINING)
# =====

# REVISI URUTAN: H, EMA_MQ136, EMA_MQ137 (Sesuai model
akurasi 98.33%)
# =====

# INFERENSI MACHINE LEARNING (URUTAN SUDAH
DISINKRONKAN DENGAN TRAINING)
# =====

# FIX: Harus urutan MQ136, MQ137, baru m_h (Sesuai dengan bentukan
data di Train.py)
fitur_multimodal = np.array([[snap_ema["136"], snap_ema["137"],
m_h]])

# 1. Standardisasi data pakai Scaler
fitur_scaled = scaler.transform(fitur_multimodal)

# 2. Prediksi pakai Random Forest
prediksi = rf_model.predict(fitur_scaled)[0]
status = "Segar" if prediksi == 1 else "Layu"

# 3. Tampilkan Hasil Super Keren ke Terminal

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

print("\n" + "="*45)
print(" HASIL ANALISIS SENSOR & AI")
print("="*45)
print(f' H2S (MQ136) : {snap_ema['136']:.4f} PPM")
print(f' NH3 (MQ137) : {snap_ema['137']:.4f} PPM")
print(f' Visual (Hue): {m_h:.2f}")
print("-" * 45)
print(f' KESIMPULAN : [ SAWI {status.upper()} ]")
print("="*45 + "\n")

# REVISI: Sekarang save_to_csv ikut mengirim data prediksi dan status
save_to_csv(snap_sensor, snap_ema, m_h, m_s, m_v, filename, prediksi,
status)

print(f' Data tersimpan ke {LOG_CSV_PATH} dan gambar
{filename}\n")

except KeyboardInterrupt:
    break
except Exception as e:
    print(f' Error: {e}")

running = False
time.sleep(0.2)
ser.close()
print(" Program dihentikan.")

if __name__ == "__main__":
    main()
  
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

