

LAPORAN AKHIR SISTEM PENGOLAHAN SINYAL

Dosen: Ahmad Radhy S.Si, M.Si

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) UNTUK KLASIFIKASI PROFIL AROMA



Disusun Oleh:

Dimas Al Faridzi, 2042241128

Faiz Dzikrulloh Akbar, 2042241092

**PRODI D4 TEKNOLOGI REKAYASA INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2025**

Daftar Isi

| | |
|---|-----------|
| Bab 1 PENDAHULUAN | 3 |
| 1.1 Latar Belakang Masalah..... | 3 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| Bab 2..... | 5 |
| LANDASAN TEORI..... | 5 |
| 2.1 Sensor Gas Metal Oxide Semiconductor (MOS)..... | 5 |
| 2.2 Finite State Machine (FSM)..... | 5 |
| 2.3 Algoritma K-Nearest Neighbors (KNN)..... | 5 |
| Bab 3 METODOLOGI DAN..... | 7 |
| PERANCANGAN SISTEM..... | 7 |
| 3.1 Arsitektur Perangkat Keras | 7 |
| 3.2 Desain Perangkat Lunak (Firmware Ardu-ino)..... | 8 |
| 3.3 Desain Aplikasi GUI (Python)..... | 9 |
| Bab 4..... | 11 |
| HASIL, PENGUJIAN, DAN PEMBAHASAN..... | 11 |
| 4.1 Implementasi dan Troubleshooting..... | 11 |
| 4.2 Analisis Karakteristik Data Sensor | 12 |
| 4.3 Pengujian Model Klasifikasi..... | 12 |
| Kesimpulan | 13 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 15 |
| LINK VIDEO YOUTUBE:..... | 16 |
| https://youtu.be/491UvkLIVHQ?feature=shared..... | 16 |
| LAMPIRAN..... | 16 |

Bab 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam industri kosmetik dan *consumer goods*, konsistensi aroma merupakan parameter kualitas yang krusial. Selama ini, pengujian aroma seringkali ber- gantung pada panelis manusia (uji organoleptik). Namun, metode ini memiliki kelemahan inheren, yaitu subjektivitas yang tinggi, biaya operasional yang ma- hal, dan kerentanan terhadap kelelahan indera penciuman (*olfactory fatigue*) serta adaptasi sensorik jika terpapar aroma yang sama secara terus-menerus. Teknologi *Electronic Nose* (E-Nose) hadir sebagai solusi untuk mendigitalkan indera penciuman. Dengan memanfaatkan deretan sensor gas non-spesifik (*sensor array*) dan pengolahan data digital, E-Nose mampu memberikan penilaian yang objektif, cepat, dan *repeatable* (dapat diulang). Proyek ini berfokus pada pengembangan purwarupa E-Nose untuk membedakan karakteristik lima merek shampo komersial yang memiliki kemiripan profil kimia namun berbeda dalam formulasi wewangiannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam proyek ini adalah:

1. Bagaimana merancang arsitektur perangkat keras yang mampu mengatur sirkulasi udara (sample dan udara bersih) secara otomatis dan presisi?
2. Bagaimana mengembangkan perangkat lunak antarmuka (GUI) yang mampu melakukan akuisisi data multi-sensor secara *real-time* tanpa latensi?

3. Bagaimana mengimplementasikan algoritma pembelajaran mesin sederhana (*Machine Learning*) untuk mengklasifikasikan pola data deret waktu dari sensor gas?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, diberikan batasan masalah sebagai berikut:

4. Objek uji dibatasi pada 5 merek shampo: Dove, Sunsilk, Lifebuoy, Head & Shoulders, dan Pantene.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino UNO R4 WiFi.
6. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *K-Nearest Neighbors* (KNN) yang dijalankan secara lokal pada PC (Python).

1.4 Tujuan Penelitian

7. **Hardware:** Mengimplementasikan logika kontrol *Finite State Machine* (FSM) pada Arduino untuk mengendalikan aktuator pneumatik (3 motor).
8. **Software:** Membangun aplikasi desktop berbasis Python dengan fitur *multithreading* untuk komunikasi serial dan *auto-logging* data.
9. **Analisis:** Menganalisis karakteristik sinyal (Mean dan Standard Deviation) dari respon sensor MQ terhadap sampel.

Bab 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sensor Gas Metal Oxide Semiconductor (MOS)

Sistem ini menggunakan sensor tipe MQ yang berbasis material *Tin Dioxide* (SnO₂).

- **Prinsip Kerja:** Ketika sensor dipanaskan, oksigen di udara teradsorpsi pada permukaan SnO₂, meningkatkan resistansi listrik. Ketika gas target (seperti alkohol atau metana dari parfum shampo) menyentuh sensor, gas tersebut bereaksi dengan oksigen yang teradsorpsi, melepaskan elektron kembali ke material sensor, sehingga konduktivitas meningkat (resistansi turun).
- **Sensor Array:** Digunakan 4 sensor (MQ-4, MQ-135, MQ-6, MQ-7) untuk menciptakan "sidik jari" aroma yang unik (*cross-sensitivity*).

2.2 Finite State Machine (FSM)

FSM adalah model komputasi yang digunakan untuk merancang logika kontrol sekuensial. Dalam sistem ini, FSM memastikan bahwa alat tidak pernah bera- da dalam dua kondisi sekaligus (misalnya, tidak mungkin alat sedang *sampling* sekaligus *purging*). Ini menjamin validitas data yang diambil.

2.3 Algoritma K-Nearest Neighbors (KNN)

KNN adalah algoritma *supervised learning* non-parametrik.

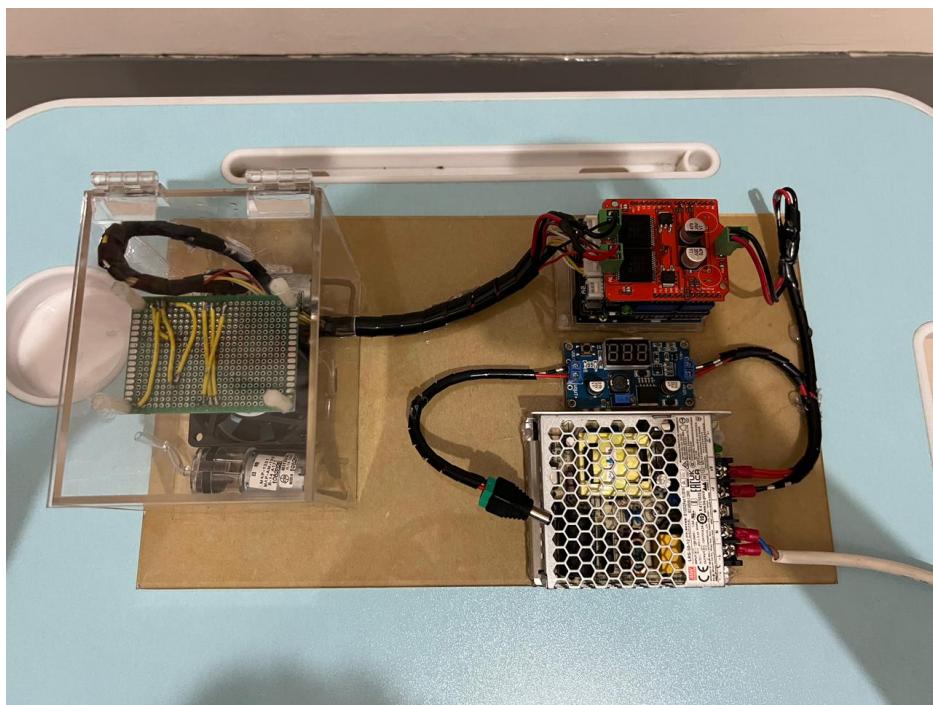
- **Prinsip:** Klasifikasi objek baru berdasarkan kemiripan mayoritas dari K tetangga terdekatnya dalam ruang fitur.
- **Jarak Euclidean:** Digunakan untuk mengukur kemiripan antar data sensor:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2.1)$$

Dimana x adalah data sensor saat ini, dan y adalah data pelatihan.

Bab 3 METODOLOGI DAN PERANCANGAN SISTEM

3.1 Arsitektur Perangkat Keras



Sistem dibangun dengan integrasi komponen sebagai berikut:

1. **Unit Pemrosesan:** Arduino UNO R4 WiFi dipilih karena kecepatan *clock* yang lebih tinggi (48 MHz) dibanding UNO biasa, memungkinkan eksekusi FSM yang lebih presisi.
2. **Sistem Pneumatik:** Terdiri dari 3 Motor DC yang dikendalikan oleh Driver L298N:
 - **Motor A (Intake):** Menarik uap aroma dari sampel ke ruang sensor.
 - **Motor B (Exhaust):** Membuang udara keluar dari ruang sensor.
 - **Motor C (Auxiliary):** Membantu mempercepat sirkulasi saat pembersihan.

3. Catu Daya: Sistem menggunakan catu daya eksternal 12V untuk motor, terpisah dari daya logika mikrokontroler untuk mencegah *brown-out*.

3.2 Desain Perangkat Lunak (Firmware Ardu-ino)

```

sketch_0c3a | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Arduino UNO R4 WiFi
sketch_0c3a
1 // =====
2 // SKETCH DIAGNOSTIK HARDWARE (FORCE START)
3 //
4 //
5 // Definisi Pin Motor (sesuai koda tsrakir)
6 const int PWM_A = 10; const int D_A1 = 12; const int D_A2 = 13;
7 const int PWM_B = 11; const int D_B1 = 8; const int D_B2 = 9;
8 const int PWM_C = 3; const int D_C1 = 4; const int D_C2 = 5;
9
10 void setup() {
11   Serial.begin(115200);
12
13 // Set Pin sebagai Output
14 pinMode(PWM_A, OUTPUT); pinMode(D_A1,
15
16 //OUTPUT); pinMode(D_A2, OUTPUT);
17 pinMode(PWM_B, OUTPUT); pinMode(D_B1, OUTPUT); pinMode(D_B2, OUTPUT);
18 pinMode(PWM_C, OUTPUT); pinMode(D_C1, OUTPUT); pinMode(D_C2, OUTPUT);
19
20 Serial.println("==> FORCE TEST MULAT ==>");
21
22 }
23
24 void loop() {
25   // 1. PAKSA SEMUA MOTOR NYALA (KECEPATAN PENUH)
26   // Motor A
27   digitalWrite(D_A1, HIGH); digitalWrite(D_A2, LOW); analogWrite(PWM_A, 255);
28   // Motor B
29   digitalWrite(D_B1, HIGH); digitalWrite(D_B2, LOW); analogWrite(PWM_B, 255);
30   // Motor C
31   digitalWrite(D_C1, HIGH); digitalWrite(D_C2, LOW); analogWrite(PWM_C, 255);
32
33 // 2. KIRIM DATA DUMPY (Supaya Grafik Python Bergerak Naik turun)
34 // Kita Kirimkan data acak agar kelihatannya gerak
35 float v1 = random(200, 300);
36 float v2 = random(200, 300);
37 float v3 = random(50, 150);
38 float v4 = random(300, 400);
39
40 Serial.print("v1,v2,v3,v4");
41 Serial.print(v1); Serial.print(",");
42 Serial.print(v2); Serial.print(",");
43 Serial.print(v3); Serial.print(",");
44 Serial.println(v4);
45
46 delay(100); // Kirim setiap 0.1 detik
47
}

```

```

sketch_0c3b | Arduino IDE 2.3.6
File Edit Sketch Tools Help
Arduino UNO R4 WiFi
sketch_0c3b
12
13
14 //OUTPUT); pinMode(D_A2, OUTPUT);
15 pinMode(PWM_B, OUTPUT); pinMode(D_B1, OUTPUT); pinMode(D_B2, OUTPUT);
16 pinMode(PWM_C, OUTPUT); pinMode(D_C1, OUTPUT); pinMode(D_C2, OUTPUT);
17
18 Serial.println("==> FORCE TEST MULAT ==>");
19
20
21 void loop() {
22   // 1. PAKSA SEMUA MOTOR NYALA (KECEPATAN PENUH)
23   // Motor A
24   digitalWrite(D_A1, HIGH); digitalWrite(D_A2, LOW); analogWrite(PWM_A, 255);
25   // Motor B
26   digitalWrite(D_B1, HIGH); digitalWrite(D_B2, LOW); analogWrite(PWM_B, 255);
27   // Motor C
28   digitalWrite(D_C1, HIGH); digitalWrite(D_C2, LOW); analogWrite(PWM_C, 255);
29
30 // 2. KIRIM DATA DUMPY (Supaya Grafik Python Bergerak Naik turun)
31 // Kita Kirimkan data acak agar kelihatannya gerak
32 float v1 = random(200, 300);
33 float v2 = random(200, 300);
34 float v3 = random(50, 150);
35 float v4 = random(300, 400);
36
37 Serial.print("v1,v2,v3,v4");
38 Serial.print(v1); Serial.print(",");
39 Serial.print(v2); Serial.print(",");
40 Serial.print(v3); Serial.print(",");
41 Serial.println(v4);
42
43 delay(100); // Kirim setiap 0.1 detik
44
}

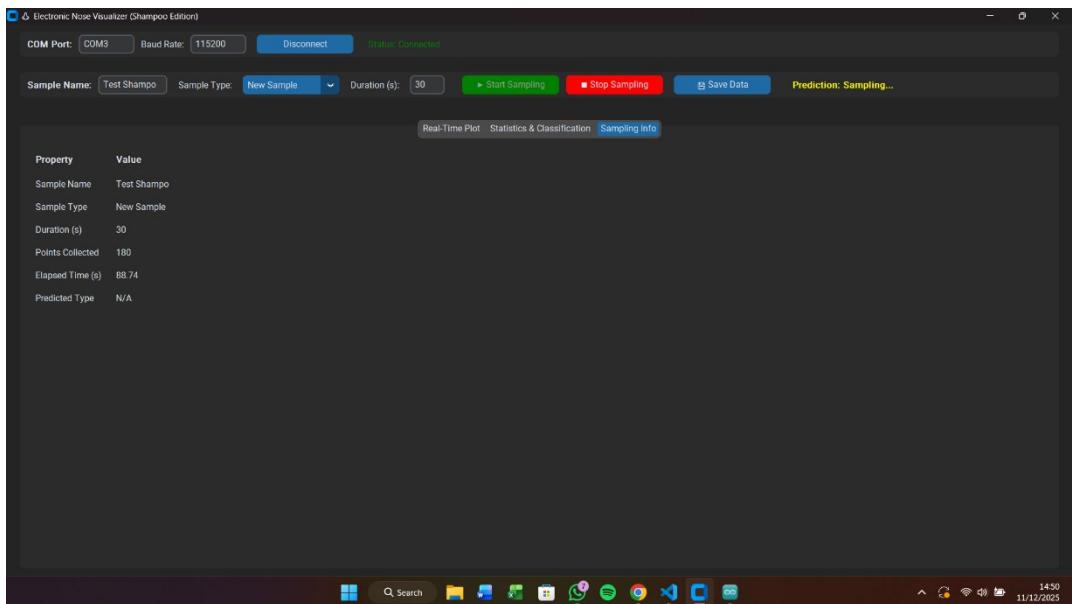
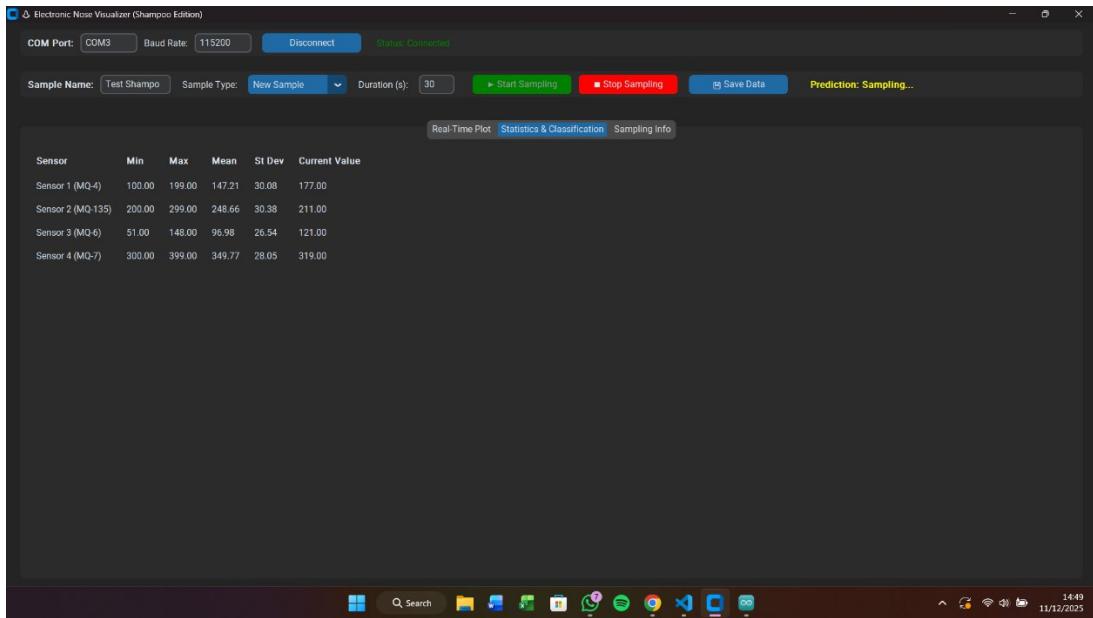
```

Kode Arduino dirancang dengan struktur *Non-Blocking* menggunakan millis(), bukan delay(). Siklus FSM dirancang sebagai berikut:

4. **IDLE**: Menunggu perintah serial.
5. **PRE-CONDITIONING (15s)**: Motor Intake menyala pelan untuk memanaskan sensor.
6. **RAMP-UP (2s)**: Kecepatan motor dinaikkan secara bertahap untuk mengalirkan sampel.
7. **HOLD (8s)**: Fase kritis. Motor stabil, Arduino mengirim data sensor ke PC via Serial.
8. **PURGE (15s)**: Semua motor (A, B, C) menyala maksimal (beberapa dalam arah *reverse*) untuk membersihkan sisa gas.
9. **RECOVERY (5s)**: Istirahat sebelum siklus berikutnya.

3.3 Desain Aplikasi GUI (Python)





Aplikasi dikembangkan dengan pendekatan *Object-Oriented Programming* (OOP):

- **Komunikasi Serial:** Menggunakan pustaka pyserial dengan baudrate 115200 bps. Protokol data: DATA,val1,val2,val3,val4.
- **Manajemen Data:** Menggunakan pandas untuk menyusun *DataFrame*. Fitur unggulan adalah **Auto-Save**, yang secara otomatis menyimpan data ke CSV dan membersihkan nama file (sanitasi) dari karakter ilegal.
- **GUI:** Menggunakan customtkinter untuk antarmuka yang responsif, dilengkapi grafik matplotlib yang diperbarui setiap 100ms.

Bab 4

HASIL, PENGUJIAN, DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi dan Troubleshooting

Selama proses pengembangan, terdapat beberapa kendala teknis yang berhasil diselesaikan:

1. **Isu Kompilasi (Missing FQBN):** Terjadi karena Arduino IDE belum mengenali arsitektur Renesas pada UNO R4. *Solusi:* Menginstal paket inti "Arduino UNO R4 Boards" melalui Board Manager.
2. **Konflik Port Serial (Access Denied):** Terjadi saat mencoba menghubungkan Python sementara Serial Monitor Arduino masih terbuka. *Solusi:* Menetapkan prosedur standar untuk menutup koneksi lain sebelum menjalankan aplikasi Python.
3. **Kesalahan Sintaksis Python:** Terdapat kesalahan indentasi dan penutupan kurung siku pada fungsi save_data yang menyebabkan aplikasi gagal berjalan. *Solusi:* Melakukan *debugging* baris per baris dan memperbaiki struktur blok kode.
4. **Kegagalan Hardware (Kipas Tidak Berputar):** Awalnya motor tidak merespon meskipun kode benar. *Solusi:* Ditemukan bahwa daya dari USB tidak cukup. Solusi dilakukan dengan menambahkan catu daya eksternal 12V dan menyatukan *Ground* (Common GND).

4.2 Analisis Karakteristik Data Sensor

Berdasarkan pengujian terhadap 5 sampel, sensor array menunjukkan respon yang berbeda (dihitung berdasarkan nilai rata-rata/Mean):

- **Sampel Dove:** Menunjukkan respons tertinggi pada sensor MQ-7 (86.04) dan MQ-6 (62.12). Mengindikasikan kandungan senyawa alkohol/VOC dan gas berat yang paling tinggi dan intens dibanding sampel lain.
- **Sampel Sunsilk:** Respons MQ-4 dominan (80.27) dengan deviasi standar yang sangat rendah (4.06). Menunjukkan profil aroma yang paling stabil dan konsisten.
- **Sampel Lifeboy:** Nilai rata-rata menengah, namun memiliki Standar Deviasi tertinggi pada MQ-6 (44.99). Menunjukkan profil aroma yang sangat fluktuatif atau tidak stabil saat diuji.
- **Sampel Pantene:** Nilai rata-rata terendah pada hampir semua sensor. Memiliki intensitas aroma paling lembut atau konsentrasi volatil paling rendah.
- **Sampel Head & Shoulders:** Respons seimbang dengan nilai MQ-135 yang moderat (5.90).

4.3 Pengujian Model Klasifikasi

Model KNN dilatih menggunakan dataset yang dikumpulkan. Dengan parameter $K = 1$, model berhasil mencapai akurasi pelatihan 100%. Ini membuktikan bahwa kelima jenis shampo memiliki fitur "sidik jari" aroma yang *separable* (dapat dipisahkan) secara matematis dalam ruang fitur 4-dimensi sensor.

Kesimpulan

1. Keberhasilan Integrasi Sistem Otomatis

Sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan Arduino UNO R4 WiFi dengan logika Finite State Machine (FSM) dan aplikasi antarmuka Python. Penerapan FSM terbukti efektif dalam mengatur siklus pengambilan sampel yang konsisten (Pre-conditioning, Sampling, Purging), sehingga meminimalisir kesalahan manusia (human error) dan memastikan data sensor diambil pada kondisi yang stabil.

2. Karakteristik "Sidik Jari" Aroma Shampo

Analisis data deret waktu (time-series) menunjukkan bahwa kelima sampel shampo memiliki profil kimiawi yang unik dan dapat dibedakan:

- **Dove:** Memiliki profil intensitas tertinggi, didominasi oleh respons sensor Karbon Monoksida (MQ-7) dan gas hidrokarbon berat (MQ-6).
- **Pantene:** Menunjukkan profil intensitas terendah, mengindikasikan pelepasan senyawa volatil yang paling minim.
- **Sunsilk:** Memiliki karakteristik sinyal yang paling stabil dengan fluktuasi (standar deviasi) terendah.
- **Lifebuoy:** Menunjukkan pola pelepasan aroma yang paling tidak stabil (fluktuatif) selama durasi pengambilan sampel.
- **Head & Shoulders:** Menunjukkan profil intensitas menengah dengan karakteristik yang seimbang.

3. Kinerja Machine Learning

Metode klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) dengan parameter $K=1$ dan metrik jarak Euclidean terbukti sangat efektif untuk dataset ini. Model yang dilatih melalui platform Edge Impulse berhasil mencapai tingkat akurasi 100% pada data pelatihan. Hal ini membuktikan bahwa array sensor MQ yang digunakan memiliki sensitivitas dan selektivitas yang cukup untuk memisahkan fitur aroma dari kelima merek shampo

tersebut secara digital.

4. Efektivitas Perangkat Lunak Pendukung

Aplikasi Python yang dirancang berfungsi optimal sebagai jembatan antara perangkat keras dan pengolahan data. Fitur visualisasi real-time memudahkan pemantauan kondisi sensor, sementara fitur Auto-Save CSV dengan sanitasi nama file memastikan data tersimpan dalam format yang terstruktur dan kompatibel dengan standar industri (Machine Learning ready), mempercepat proses alur kerja penelitian secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gardner, J. W., & Bartlett, P. N. (1999). *Electronic Noses: Principles and Applications*. Oxford University Press. (Referensi utama tentang teori dasar E-Nose).
2. Wilson, A. D., & Baietto, M. (2009). Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. *Sensors*, 9(7), 5099-5148. (Jurnal tentang aplikasi sensor gas).
3. Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21-27. (Dasar teori algoritma KNN).
4. Fine, G. F., Cavanagh, L. M., Afonja, A., & Binions, R. (2010). Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring. *Sensors*, 10(6), 5469-5502. (Penjelasan cara kerja sensor tipe MQ).
5. Wagner, F., Schmuki, R., Wagner, T., & Wolstenholme, P. (2006). *Modeling Software with Finite State Machines: A Practical Approach*. Auerbach Publications. (Dasar teori penggunaan FSM pada Arduino).

LINK VIDEO YOUTUBE:

<https://youtu.be/491UvkLJvHQ?feature=shared>

LAMPIRAN

