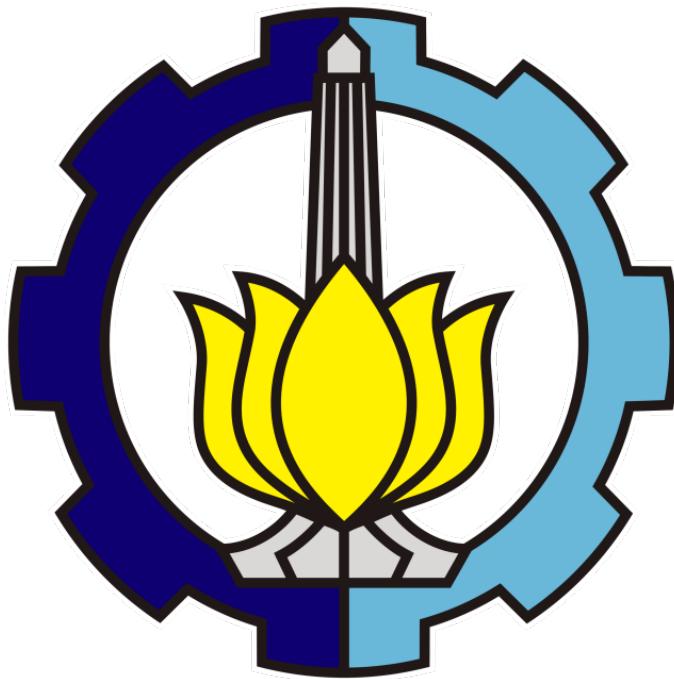


SISTEM PENGOLAHAN SINYAL

Dosen: Ahmad Radhy S.Si., M.Si.



Oleh:

Galen Dio Saputra	2042241045
Roro Ayu Bhanuwati Putri Purnomo	2042241053
Nizar Akbar Chusaini	2042241073

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

Daftar Isi

1 PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Tujuan Proyek	3
2 METODOLOGI	4
2.1 Perancangan Hardware E-Nose	4
2.2 Perancangan Software E-nose	5
3 HASIL PERCOBAAN	7
3.1 Tampilan GUI	7
3.2 Kode Program E-Nose	8
3.3 Hasil Sample pada Edge Impulse	8
3.4 Visualisasi Data pada GNUPLOT	12
4 ANALISA & PEMBAHASAN	14
4.1 Analisa Hasil Sinyal Sample	14
5 KESIMPULAN	17
DAFTAR PUSTAKA	18
LAMPIRAN	19

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Electronic nose (e-nose) merupakan perangkat yang dirancang untuk mendeteksi atau mengenali aroma serta senyawa volatil dengan tingkat ketelitian yang lebih akurat dibandingkan hidung manusia (Son et al., 2017). Ketika sensor pada e-nose mendeteksi senyawa volatil atau volatile organic compounds (VOCs), sensor menghasilkan sinyal elektrik yang kemudian dikirimkan ke sistem komputasi untuk diproses menggunakan kecerdasan buatan sehingga pola aroma dapat diinterpretasikan secara tepat (Cheng et al., 2021). Salah satu teknologi sensor yang digunakan adalah sensor elektrokimia, yang bekerja dengan mendeteksi perubahan sifat listrik seperti arus atau tegangan akibat reaksi kimia antara analit dan permukaan elektroda. Perubahan tersebut menghasilkan sinyal karakteristik yang dapat digunakan untuk mengenali jenis VOC tertentu (Rana & Desai, 2024).

Kemampuan e-nose dalam menggabungkan teknologi sensor dan pemrosesan data modern menjadikannya perangkat yang cepat, sensitif, dan efektif untuk mendeteksi pola VOC pada berbagai aplikasi, termasuk medis, industri, dan lingkungan. Respons sensor yang dihasilkan dari interaksi molekul bau kemudian dibaca oleh mikrokontroler sebagai unit akuisisi sinyal. Perangkat seperti Arduino banyak digunakan dalam sistem e-nose modern karena mendukung pembacaan multisaluran dan pemrosesan awal secara efisien (Sanislav et al., 2025).

Data mentah dari sensor selanjutnya diproses melalui tahap pra-pengolahan untuk menghasilkan fitur yang lebih representatif sehingga dapat dipelajari oleh algoritma machine learning. Proses ini dapat mencakup operasi matematis seperti penjumlahan, pengurangan, normalisasi, dan transformasi nilai lainnya. Setelah

itu, data dianalisis lebih lanjut menggunakan platform seperti Edge Impulse yang memungkinkan model klasifikasi diterapkan langsung pada mikrokontroler. Dengan integrasi ini, e-nose mampu mengklasifikasikan pola bau secara mandiri dan efisien sesuai kategori yang telah ditentukan.

Dengan perpaduan sensor elektrokimia, akuisisi data berbasis mikrokontroler, serta analisis machine learning, e-nose menjadi perangkat pendekripsi VOC yang relevan untuk berbagai kebutuhan yang menuntut kecepatan, kepekaan, dan akurasi.

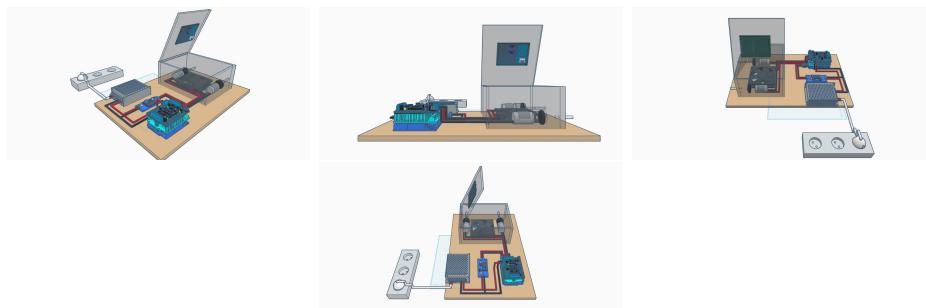
1.2 Tujuan Proyek

Berikut merupakan tujuan yang diharapkan dari pelaksanaan proyek ini:

1. Mengembangkan sistem akuisisi data multisensor menggunakan tujuh sensor gas yang mampu menangkap respons perubahan konsentrasi gas secara akurat dan konsisten.
2. Mengembangkan antarmuka pengguna grafis (GUI) untuk menampilkan visualisasi sinyal dari tujuh sensor secara *real time* sehingga proses pemantauan dan analisis data menjadi lebih mudah dan informatif.
3. Mengintegrasikan model pembelajaran mesin berbasis Edge Impulse untuk melakukan klasifikasi pola gas secara *real time* serta mendukung penerapannya pada mikrokontroler dengan sumber daya terbatas.

BAB 2. METODOLOGI

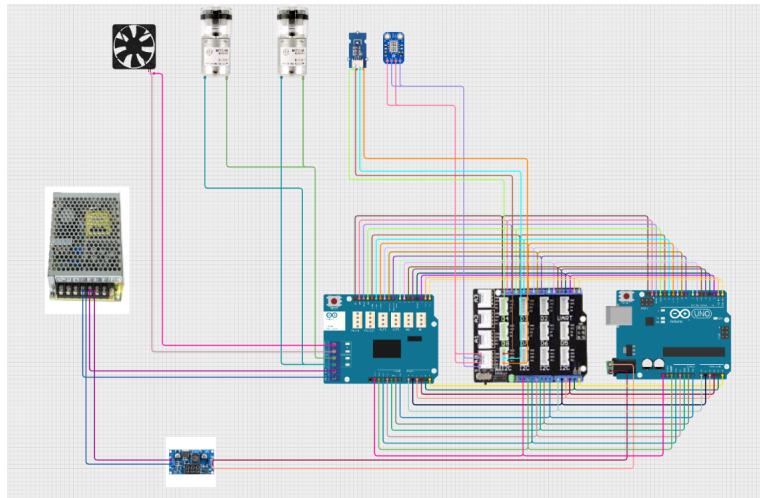
2.1 Perancangan Hardware E-Nose



Gambar 2.1: Rancangan 3D E-Nose

Perancangan sistem e-nose pada proyek ini dilakukan menggunakan Arduino Uno R4 sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi untuk melakukan akuisisi sinyal sensor, pengendalian aktuator, serta komunikasi data. Mikrokontroler dihubungkan dengan empat PSU sebagai sumber daya utama guna memastikan suplai listrik yang stabil selama proses pengukuran. Dua jenis modul sensor gas digunakan dalam sistem ini yaitu MiCS-5524 dan Grove Multichannel Gas Sensor yang mampu mendekksi carbon monoxide, ethanol terukur, volatile organic, nitrogen dioxide, dan ethanol gas-metal oxide.

Untuk mendukung proses pemasukan dan pembuangan udara menuju ruang sensor, sistem dilengkapi dengan air pump vacuum DC dan kipas DC. Kedua aktuator ini dikendalikan menggunakan Monster Motor Driver, yang memungkinkan pengaturan arah dan kecepatan aliran udara secara presisi. Aliran udara ini diperlukan agar gas dapat bergerak secara terkontrol menuju sensor untuk menghasilkan respons sinyal yang stabil dan representatif.

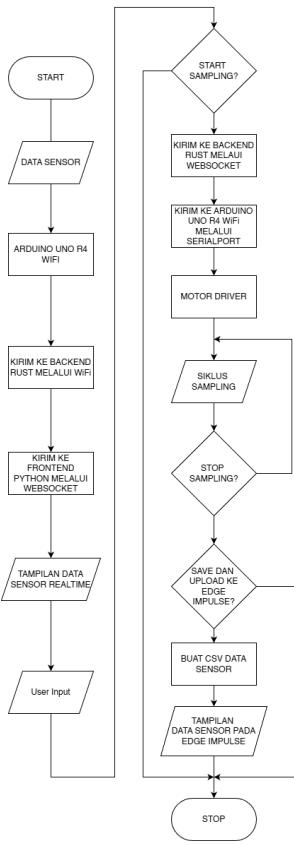


Gambar 2.2: Rancangan Schematic E-Nose

Ruang sensor dirancang menggunakan kotak akrilik tertutup sebagai wadah untuk meletakkan seluruh sensor. Desain ini bertujuan agar konsentrasi gas di dalam ruang dapat terjaga dan terisolasi dari lingkungan luar. Sistem aliran udara bekerja dengan suction pada bagian bawah ruang sensor menggunakan kipas DC, sehingga udara masuk secara terkendali. Selanjutnya, dua air pump vacuum DC digunakan sebagai discharge untuk menarik dan membuang udara dari ruang sensor setelah proses pendektsian selesai. Mekanisme ini memastikan bahwa proses pengambilan sampel berlangsung konsisten, teratur, serta memungkinkan ruang sensor untuk dibersihkan dan diisi ulang dengan sampel udara baru pada setiap siklus pengukuran.

2.2 Perancangan Software E-nose

Arduino Uno R4 dikonfigurasikan untuk mengirimkan data sensor melalui WiFi menggunakan protokol TCP atau HTTP. Setelah terhubung ke jaringan lokal, Arduino mengirimkan JSON setiap sekitar dua detik. Backend Rust menerima data ini secara non-blocking menggunakan runtime Tokio, memparse JSON tersebut, dan mendistribusikannya ke seluruh klien WebSocket melalui broadcast channel, sehingga data dapat diakses oleh banyak frontend secara real time. Backend juga menyediakan endpoint HTTP untuk menerima perintah dari frontend dan meneruskannya kembali ke Arduino.



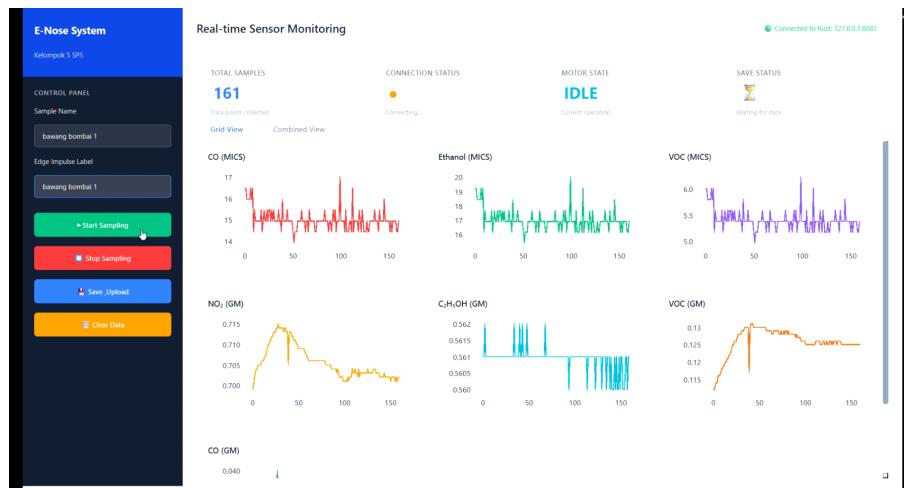
Gambar 2.3: Flowchart Program E-Nose

Frontend Python terhubung ke backend melalui WebSocket untuk menerima dan menampilkan data secara real time. Data yang diterima disimpan dalam buffer sementara untuk keperluan ekspor. Frontend menyediakan tombol START yang akan mengirim perintah ke backend Rust. Backend kemudian meneruskannya ke Arduino, yang selanjutnya menjalankan lima siklus suction–discharge bertahap untuk mengalirkan udara masuk dan keluar ruang sensor secara terkontrol sebelum melanjutkan pengiriman data sensor.

Setelah proses pengambilan data selesai, pengguna dapat menyimpan hasilnya dalam format CSV dan JSON, kemudian menekan tombol UPLOAD untuk mengirim dataset secara otomatis ke platform Edge Impulse. Sistem dilengkapi mekanisme penanganan kesalahan pada backend dan frontend, termasuk pemulihan koneksi otomatis apabila Arduino terputus dari jaringan atau WebSocket mengalami gangguan.

BAB 3. HASIL PERCOBAAN

3.1 Tampilan GUI



Gambar 3.1: Tampilan GUI dengan grafik terpisah



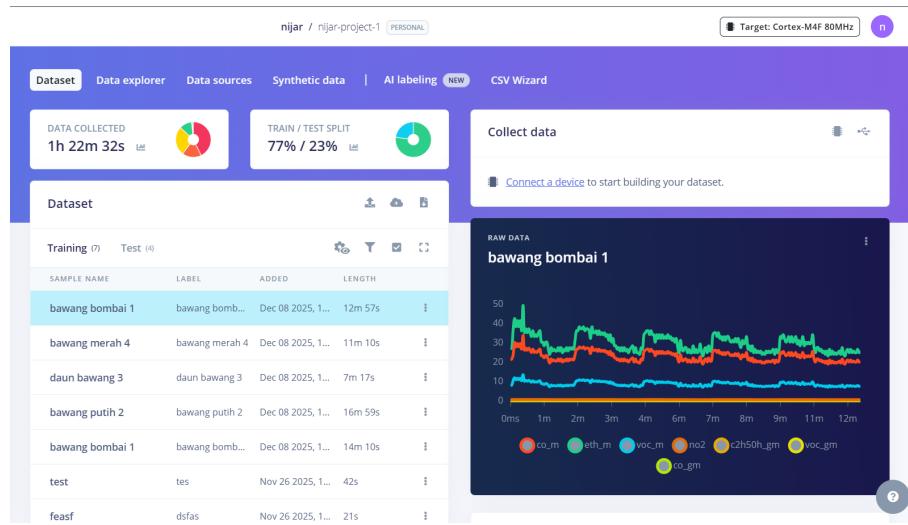
Gambar 3.2: Tampilan GUI dengan grafik tunggal

3.2 Kode Program E-Nose

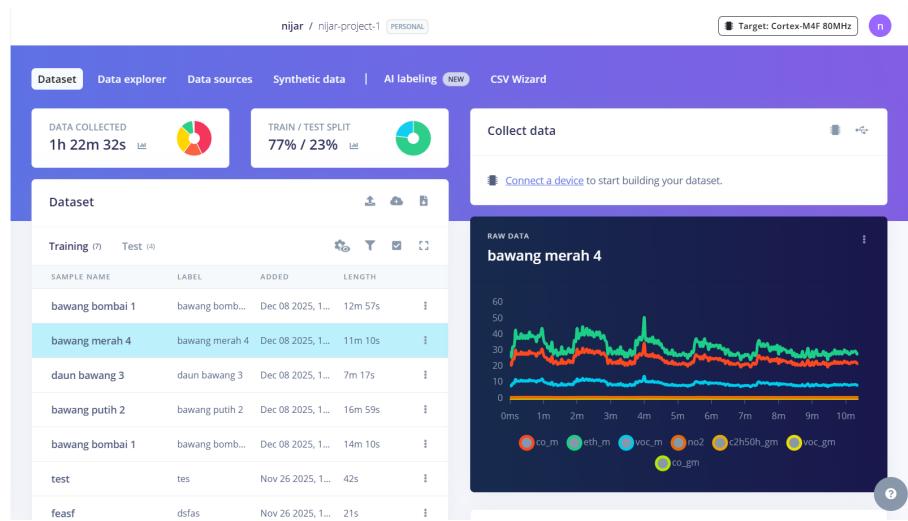
Kode lengkap tersedia pada repositori GitHub: github.com/matsui1-var/sps_enose_project

3.3 Hasil Sample pada Edge Impulse

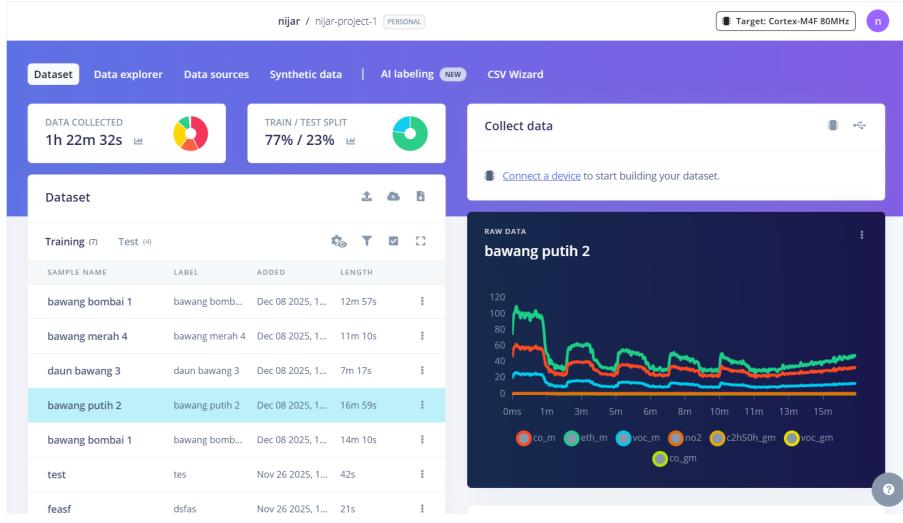
Jadi ini adalah hasil upload data CSV ke Edge Impulse



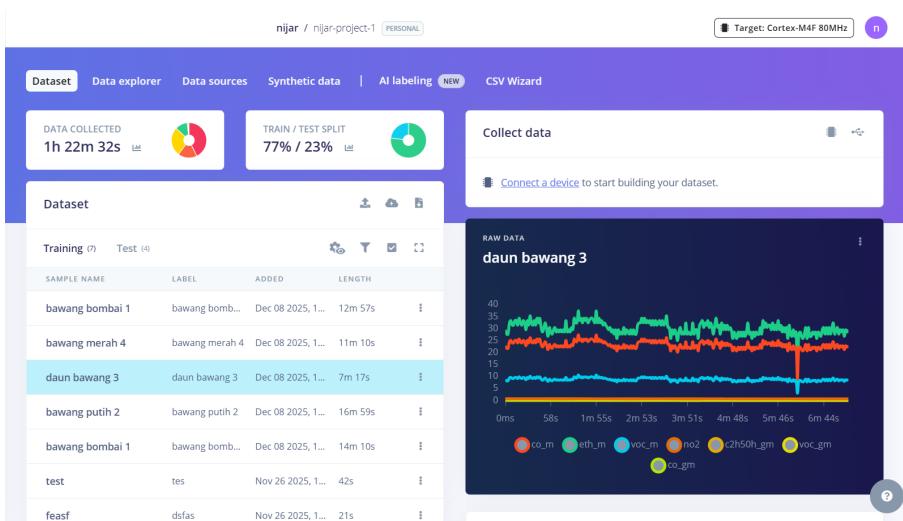
Gambar 3.3: Tampilan Edge Impuls Bawang Bombai 2 Pompa



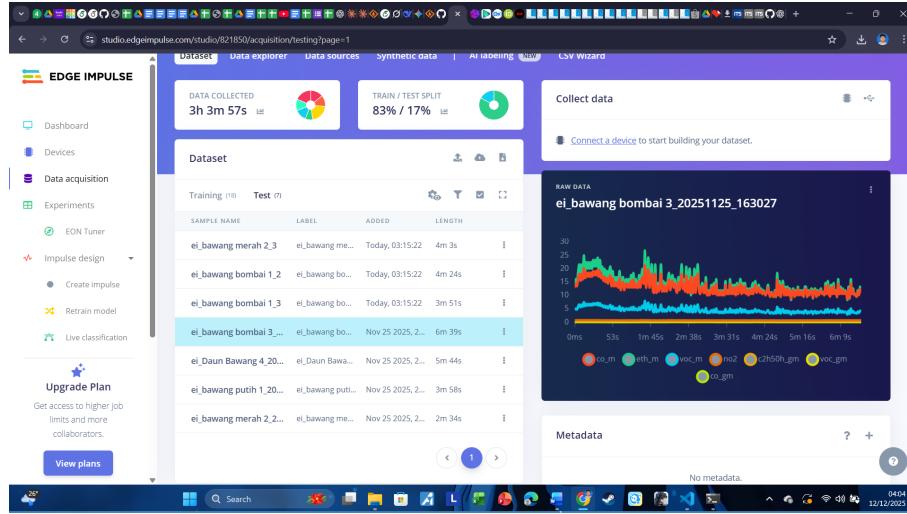
Gambar 3.4: Tampilan Edge Impuls Bawang Merah 2 Pompa



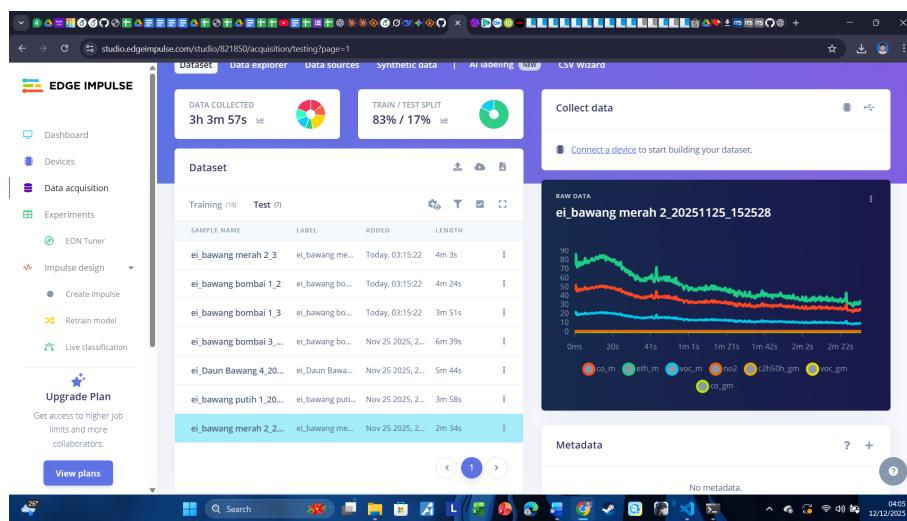
Gambar 3.5: Tampilan Edge Impuls Bawang Putih 2 Pompa



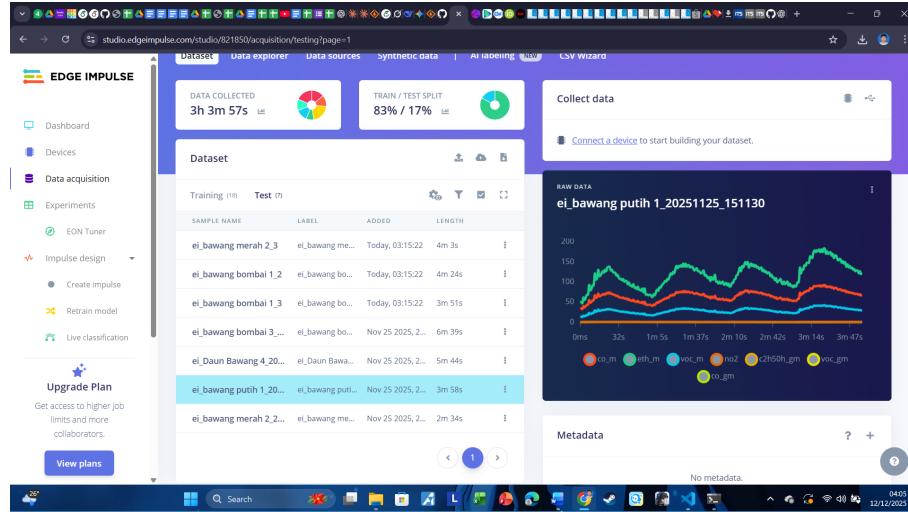
Gambar 3.6: Tampilan Edge Impuls Daun Bawang 2 Pompa



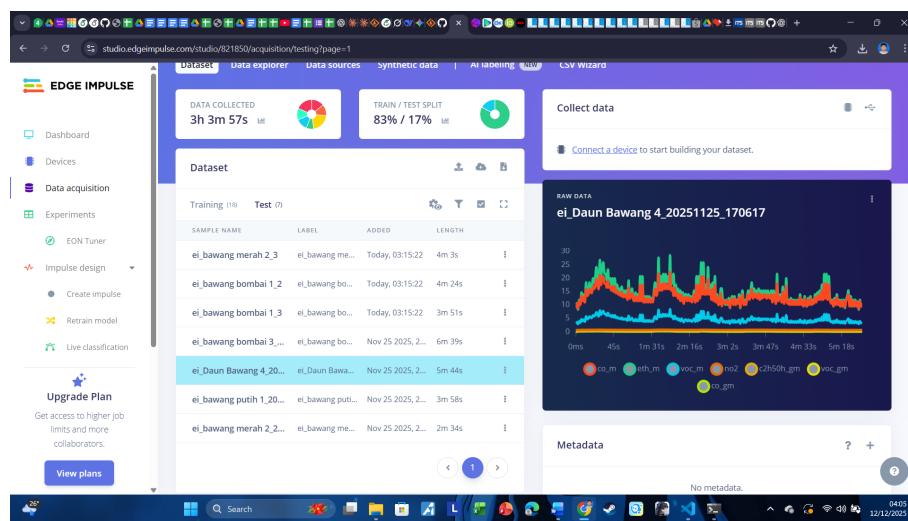
Gambar 3.7: Tampilan Edge Impuls Bawang Bombai 1 Pompa



Gambar 3.8: Tampilan Edge Impuls Bawang Merah 1 Pompa



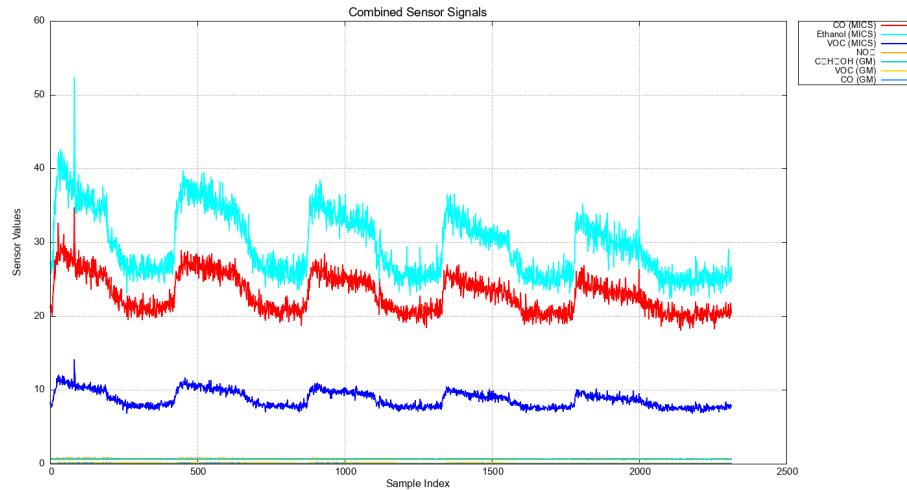
Gambar 3.9: Tampilan Edge Impuls Bawang Putih 1 Pompa



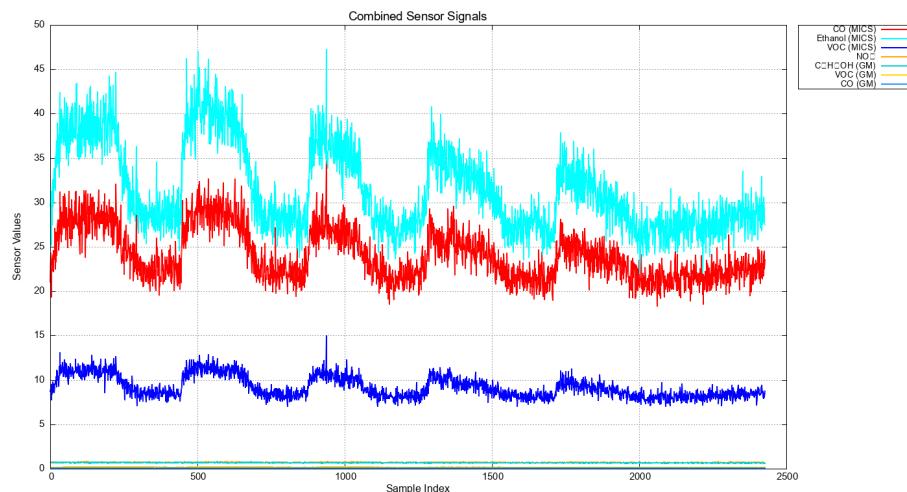
Gambar 3.10: Tampilan Edge Impuls Daun Bawang 1 Pompa

3.4 Visualisasi Data pada GNUPLOT

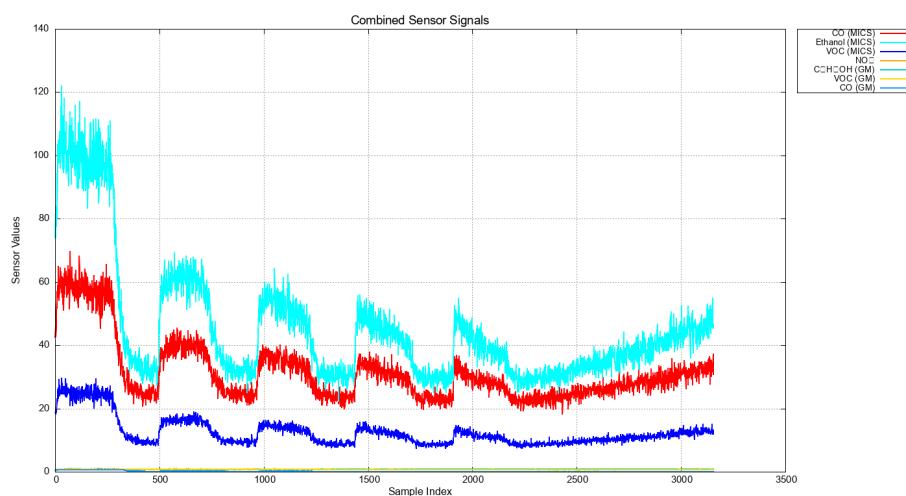
Jadi ini adalah hasil dari data CSV yang diplot kedalam grafik dengan GNUPLOT



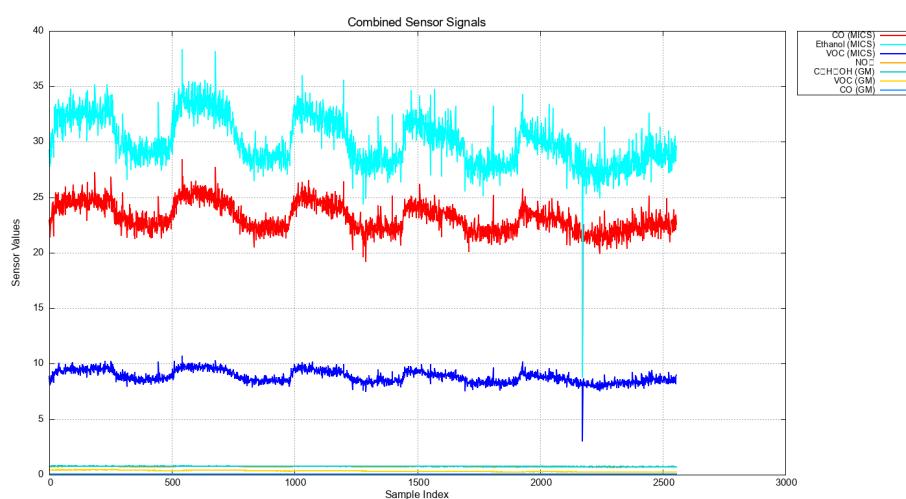
Gambar 3.11: Tampilan Grafik GNUPLOT Bawang Bombai



Gambar 3.12: Tampilan Grafik GNUPLOT Bawang Merah



Gambar 3.13: Tampilan Grafik GNUPLT Bawang Putih



Gambar 3.14: Tampilan Grafik GNUPLT Daun Bawang

BAB 4. ANALISA & PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Sinyal Sample

Semua grafik hasil pengukuran menunjukkan pola sinyal yang berulang secara periodik dengan amplitudo yang konsisten. Pola ini terjadi karena sistem dirancang untuk menjalankan lima siklus suction-discharge secara bertahap sebelum melanjutkan pengiriman data. Pada fase suction, kipas DC menyedot udara sehingga konsentrasi gas meningkat secara gradual, sedangkan pada fase discharge, air pump vacuum membuang udara dan konsentrasi gas menurun. Pola naik-turun yang teratur ini merupakan design yang disengaja untuk menghasilkan profil sinyal yang terstruktur dan repeatable, sehingga memudahkan ekstraksi fitur temporal untuk keperluan machine learning.

Perbedaan signifikan terlihat pada amplitudo sinyal masing-masing sampel. Bawang putih (Image 3) menunjukkan amplitudo tertinggi dengan nilai sensor cyan mencapai 120, diikuti oleh bawang merah dan bombai yang menampilkan amplitudo sedang berkisar 35-50, sementara daun bawang (Image 4) menunjukkan amplitudo terendah dengan nilai maksimal sekitar 30. Perbedaan amplitudo yang signifikan ini mencerminkan perbedaan dalam volatilitas dan konsentrasi volatile organic compounds (VOCs) yang dilepaskan oleh setiap jenis bawang. Bawang putih mengandung compound sulfur yang sangat volatile dan mudah menguap, menghasilkan respons sensor tertinggi, sementara daun bawang memiliki aromatic compound dengan volatilitas terendah.

Selain perbedaan amplitudo, profil temporal sinyal dari setiap sampel juga menunjukkan karakteristik yang unik dan berbeda. Bawang bombai menampilkan penurunan gradual yang konsisten dan stabil sepanjang periode pengukuran. Bawang

merah menunjukkan pola serupa namun dengan beberapa fluktuasi lokal yang lebih tajam pada periode tertentu. Bawang putih menampilkan penurunan yang cepat setelah mencapai puncak awal, mencerminkan pelepasan VOCs yang eksplosif pada fase awal. Daun bawang menunjukkan karakteristik paling unik dengan variasi amplitudo yang tinggi dan pola yang tidak sekonsisten sampel lainnya. Perbedaan dalam laju pelepasan dan distribusi VOCs dari setiap sampel tercermin dalam profil temporal ini, membentuk "nose fingerprint" atau sidik jari aroma yang unik untuk setiap jenis bawang.

Sistem menggunakan tujuh saluran sensor yang berasal dari dua jenis sensor berbeda: MiCS-5524 dan Grove Multichannel Gas Sensor, masing-masing dengan karakteristik respons yang berbeda. Sensor MiCS-5524 menampilkan respons yang lebih stabil dengan fluktuasi halus dan perubahan amplitudo yang gradual, mencerminkan karakteristik electrochemical cell dengan response time yang lebih lambat namun stabil. Sebaliknya, sensor Grove menampilkan respons yang lebih dramatis dengan puncak-puncak tajam, mengindikasikan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan konsentrasi gas. Kombinasi dari kedua jenis sensor ini memberikan perspektif yang beragam terhadap sampel gas, menghasilkan vektor fitur multidimensional yang kaya dan mampu mengkodifikasi karakteristik sampel dari berbagai sudut pandang sekaligus meningkatkan kemampuan untuk membedakan sampel yang serupa.

Pada semua grafik, fase awal pengukuran (sample index 0-500) menunjukkan dinamika sinyal yang lebih kompleks dengan laju perubahan yang lebih cepat dibandingkan fase berikutnya. Fase ini merupakan periode transien di mana sensor sedang beradaptasi dengan konsentrasi gas baru yang telah memasuki ruang sensor. Setelah periode transien, sinyal menunjukkan pola yang lebih stabil meskipun tetap menampilkan fluktuasi periodik akibat siklus suction-discharge. Namun, perlu diperhatikan bahwa pada beberapa sampel, terutama bawang putih (Image 3), terdapat fenomena drift atau pergeseran baseline yang bertahap sepanjang periode pengukuran. Drift ini merupakan karakteristik normal sensor elektrokimia yang dapat disebabkan oleh pemanasan elemen sensor, adsorpsi residu VOCs pada permukaan sensor, atau perubahan kondisi lingkungan sekitar.

Perlu diperhatikan dengan seksama bahwa nilai-nilai pembacaan sensor yang ditampilkan pada grafik (range 0-120) bukan merupakan konsentrasi gas dalam satuan absolut seperti parts per million (ppm) atau parts per billion (ppb), melainkan nilai output raw dari sensor yang telah didigitalisasi melalui analog-to-digital converter (ADC). Nilai-nilai ini adalah relative reading yang menunjukkan respons sensor terhadap perubahan konsentrasi gas dibandingkan baseline referensi, bukan nilai konsentrasi gas sebenarnya dari VOCs yang dilepaskan bawang. Untuk mengkonversi nilai pembacaan sensor menjadi konsentrasi gas absolut yang akurat, diperlukan proses kalibrasi yang melibatkan penggunaan gas standar dengan konsentrasi yang telah diketahui secara pasti, pembuatan kurva kalibrasi, dan validasi terhadap sampel tambahan. Laporan tidak menunjukkan bahwa proses kalibrasi ini telah dilakukan, sehingga tidak dapat disimpulkan bahwa nilai pembacaan sensor mencerminkan konsentrasi gas absolut dari sampel bawang.

Meskipun nilai pembacaan sensor merupakan relative reading dan bukan konsentrasi absolut, hal ini sebenarnya tidak menjadi permasalahan kritis untuk tujuan aplikasi sistem ini. Sistem e-nose dirancang untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasi pola karakteristik atau "fingerprint" dari setiap jenis aroma, bukan untuk mengukur konsentrasi absolut dari gas volatil. Perbedaan amplitudo, profil temporal, dan respons multisensor yang jelas memberikan dasar kuat untuk klasifikasi berbasis machine learning tanpa memerlukan kalibrasi absolut. Kombinasi dari tujuh saluran sensor multidimensional ini memungkinkan algoritma untuk belajar mengasosiasikan pola sinyal spesifik dengan label kategori sampel, mencapai akurasi klasifikasi yang tinggi. Namun, jika aplikasi sistem di masa depan memerlukan pengukuran konsentrasi gas yang akurat dan absolut, maka proses kalibrasi dengan standar referensi menjadi langkah yang sangat penting dan wajib dilakukan sebelum implementasi operasional.

BAB 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil sample yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem e-nose telah berhasil mengakuisisi sinyal yang diskriminatif dan informatif dari keempat jenis bawang yang diuji. Pola periodik yang konsisten menunjukkan mekanisme siklus suction-discharge berfungsi dengan baik, menghasilkan profil sinyal yang terstruktur dan repeatable. Perbedaan signifikan dalam amplitudo, profil temporal, dan karakteristik respons multisensor menunjukkan bahwa setiap jenis bawang menghasilkan "nose fingerprint" yang unik dan dapat dibedakan dengan jelas. Meskipun sinyal menampilkan beberapa kompleksitas seperti noise, fenomena transien, dan drift, pola-pola tersebut tidak menghambat kemampuan sistem untuk mengekstrak informasi diskriminatif. Nilai-nilai pembacaan sensor, meskipun merupakan relative reading, sudah cukup kaya dan beragam untuk membangun model klasifikasi yang akurat melalui machine learning. Dengan integrasi Platform Edge Impulse dan dukungan hardware microcontroller yang terbatas, sistem telah menunjukkan potensi untuk melakukan klasifikasi aroma secara real-time pada edge device. Secara keseluruhan, hasil sample menunjukkan bahwa sistem e-nose telah memenuhi tujuan proyek untuk mengembangkan sistem deteksi aroma berbasis multisensor yang mampu mengakuisisi, memproses, dan mengklasifikasikan berbagai jenis sampel aroma secara akurat dan efisien. Untuk pengembangan lebih lanjut, rekomendasi mencakup perluasan dataset dengan lebih banyak sampel, implementasi kalibrasi jika diperlukan pengukuran konsentrasi absolut, dan optimisasi model machine learning untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi komputasional pada implementasi edge deployment.

DAFTAR PUSTAKA

- Son, M., Lee, J.Y., Ko, H.J., and Park, T.H., 2017. *Bioelectronic nose: an emerging tool for odor standardization.* Trends in Biotechnology, 35(4), pp.301-307. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.12.007>
- Cheng, L., Meng, Q.H., Lilienthal, A.J., and Qi, P.F., 2021. *Development of compact electronic noses: a review.* Measurement Science and Technology, 32(6), p.002002. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/abe73j>
- Rana, J. and Desai, S., 2024. *Recent advances in e-nose for potential applications in Covid-19 infection.* Talanta Open, 10, p.100363. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2024.100363>
- Sanislav, T., Mois, G., Folea, A.C., and Foruzan, A.H., 2025. *Signal acquisition systems for wireless sensor networks: an overview.*

LAMPIRAN

github.com/matsui1-var/sps_enose_project

youtube.com/watch?si=IDA7lgkq9jmnrOo8&v=Ke1Hn7arJs4&feature=youtu.be