

Exhaust Gas Emission Monitoring System for Motor Vehicles Based on Sensors and the KNN (*K-Nearest Neighbor*)

[Sistem Pemantauan Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbasis Sensor dan KNN (*K-Nearest Neighbor*)]

Dymas Hendra Kusuma¹⁾, Syamsudduha Syahrini*²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: syahrini@umsida.ac.id

Abstract. *The increasing number of motor vehicles has contributed to higher exhaust emissions, leading to a decline in air quality. This study aims to design a sensor-based monitoring and classification system for vehicle exhaust emissions with simple implementation and low cost. The system uses a microcontroller to measure emission parameters including carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), hydrocarbons (HC), and oxygen (O₂). Sensor data are processed using the K-Nearest Neighbor method with Euclidean distance calculations to classify emission levels. The classification results are then compared with measurements from a manufacturer's emission testing device used as a reference. Experimental results show that the proposed system is able to classify vehicle emission levels with an accuracy of 75%. Although slight differences occur due to sensor characteristics, the classification results remain consistent with the reference device and can support real-time emission monitoring.*

Keywords - Air Pollution Monitoring, Emission Classification, Gas Sensors, K-Nearest Neighbor, Vehicle Exhaust Emissions

Abstrak. *Peningkatan jumlah kendaraan bermotor telah berkontribusi pada peningkatan emisi gas buang, yang mengakibatkan penurunan kualitas udara. Studi ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan dan klasifikasi emisi gas buang kendaraan berbasis sensor dengan implementasi sederhana dan biaya rendah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler untuk mengukur parameter emisi termasuk karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), dan oksigen (O₂). Data sensor diproses menggunakan metode K-Nearest Neighbor dengan perhitungan jarak Euclidean untuk mengklasifikasikan tingkat emisi. Hasil klasifikasi kemudian dibandingkan dengan pengukuran dari perangkat pengujian emisi pabrikan yang digunakan sebagai acuan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mampu mengklasifikasikan tingkat emisi kendaraan dengan akurasi 75%. Meskipun terdapat perbedaan kecil akibat karakteristik sensor, hasil klasifikasi tetap konsisten dengan perangkat acuan dan dapat mendukung pemantauan emisi secara real-time.*

Kata Kunci - Pemantauan Polusi Udara, Klasifikasi Emisi, Sensor Gas, K-Nearest Neighbor, Emisi Gas Buang Kendaraan

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dalam beberapa tahun terakhir telah berdampak langsung pada kualitas udara, terutama di daerah perkotaan [1]. Aktivitas transportasi merupakan salah satu kontributor terbesar emisi gas buang, yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan lingkungan [2]. Gas-gas seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), dan oksigen (O₂) merupakan komponen utama yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin, dan konsentrasinya dapat menjadi indikator kondisi mesin dan tingkat polusi udara [3]. Upaya pemantauan emisi kendaraan semakin penting seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem yang mampu beroperasi secara real-time, akurat, dan mudah diimplementasikan di lapangan [4]. Penggunaan sensor berbasis IoT menjadi solusi praktis yang dapat digunakan untuk mengumpulkan data emisi secara langsung dan mentransmisikannya ke dalam sistem pemrosesan data.

Dalam penelitian ini, data sensor yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN). Metode ini dipilih karena mampu mengklasifikasikan data yang diperoleh berdasarkan tingkat kesamaan dengan data pelatihan [5]. Nilai K ditetapkan pada lima kategori, sehingga proses penilaian dilakukan menggunakan empat tetangga terdekat. Jarak antar titik data dapat dihitung menggunakan jarak *Euclidean* untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang lebih akurat [6]. Hasil analisis kemudian dikelompokkan ke dalam lima kategori yang sudah ditetapkan dengan standar ambang batas emisi yang berlaku [7].

Metode ini akan memberikan hasil yang lebih akurat mengenai emisi kendaraan bermotor dan dapat menjadi landasan dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengendalian polusi udara [8]. Hasil klasifikasi ini dapat membantu dalam membuat kebijakan yang lebih baik seperti menentukan zonasi untuk pembatasan kendaraan bermotor yang memiliki potensi polusi tinggi, mengoptimalkan sistem transportasi umum, serta dapat membantu penggunaan kendaraan dengan sistem ramah lingkungan, dengan mengidentifikasi tingkat polusi secara lebih tepat.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

Selain itu, analisis ini dapat menjadi alat yang berguna untuk masyarakat mengenai pentingnya menjaga kualitas udara dan mendorong perilaku ramah lingkungan.

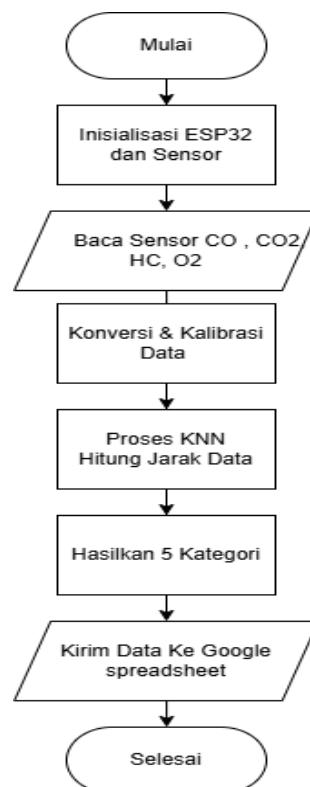
II. METODE

A. Tahap Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dengan tujuan untuk memperoleh referensi dan landasan teoritis terkait emisi gas buang kendaraan bermotor, karakteristik sensor gas, serta konsep dan penerapan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN). Tahap berikutnya adalah mendesain sistem pemantauan emisi gas buang kendaraan bermotor berbasis sensor. Pada tahap ini, terdapat dua desain yang dilakukan yaitu desain *hardware* yang meliputi pemilihan sensor gas, mikrokontroler, dan sirkuit pendukung, lalu desain perangkat lunak untuk membaca, memproses, dan menyimpan data sensor.

Proses pengambilan data emisi gas buang kendaraan bermotor dilakukan setelah seluruh desain sistem telah diselesaikan. Parameter emisi yang terdiri dari CO, CO₂, HC, dan O₂, diperoleh dari beberapa kendaraan bermotor yang dioperasikan dalam kondisi berbeda-beda untuk mendapatkan data yang bervariasi. Hasil pengukuran kemudian diolah dan dikelompokkan menjadi dataset yang terstruktur. Pemilihan data, normalisasi, dan pembagian dataset menjadi subset pelatihan dan pengujian dilakukan pada fase pemrosesan data. Dataset pelatihan digunakan sebagai acuan dalam proses klasifikasi, sedangkan dataset pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja algoritma KNN.

Selanjutnya, metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) digunakan dalam menentukan kondisi emisi mesin kendaraan berdasarkan data numerik yang muncul. Tahap ini terdiri dari penentuan nilai K yang sesuai, perhitungan jarak antara titik data menggunakan pendekatan jarak *Euclid*, dan penugasan label kelas berdasarkan kelas mayoritas tetangga terdekat. Pada tahap akhir dilakukan evaluasi kinerja sistem dan metode yang digunakan. Evaluasi tersebut dilakukan dengan cara menganalisis hasil klasifikasi, kemudian tingkat akurasi, serta kesesuaian antara hasil sistem dengan kondisi emisi kendaraan bermotor yang sebenarnya berdasarkan hasil evaluasi.

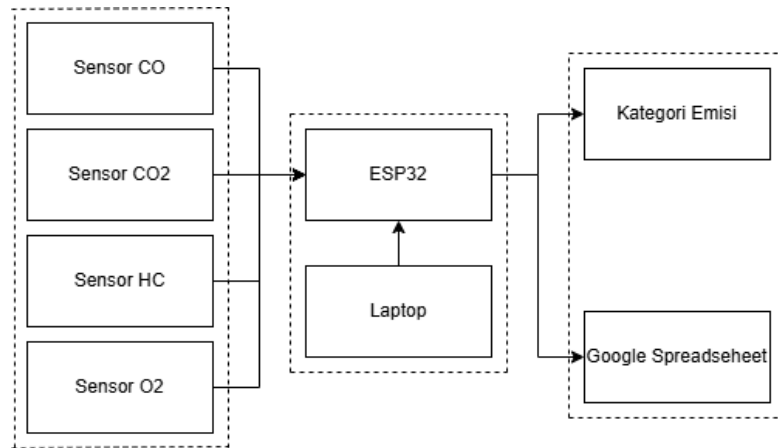


Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Gambar 1. Menunjukkan diagram alir tahapan penelitian yang dilakukan, dimulai dari studi literatur, lalu mendesain sistem, hingga evaluasi hasil. Data emisi gas buang yang diperoleh dari sensor CO, CO₂, HC, dan O₂ kemudian diproses menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* untuk menentukan kategori tingkat emisi, kemudian dikirim ke *Google Spreadsheet* untuk pemantauan dan pencatatan data.

B. Desain Sistem

Desain sistem pemantauan emisi gas buang kendaraan bermotor terdiri dari sensor gas, mikrokontroler, modul konversi data, dan perangkat lunak pemrosesan data. Sensor gas akan membaca konsentrasi CO, HC, dan O₂ dari gas buang kendaraan bermotor. Data analog dari sensor yang telah diperoleh kemudian akan diubah menjadi data digital, diproses dan disimpan sebagai dataset.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Monitoring Emisi

Gambar 2. menunjukkan diagram blok sistem yang menggambarkan alur kerja sistem pemantauan emisi gas buang kendaraan bermotor. Data emisi dalam bentuk CO, CO₂, HC, dan O₂ dibaca oleh sensor gas dan kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32[9]. Data tersebut dinormalisasi dan diklasifikasikan menggunakan metode K-Nearest Neighbor untuk menentukan kategori tingkat emisi. Hasil pengukuran dan klasifikasi kemudian dikirim ke Google Spreadsheet sebagai media untuk pencatatan dan pemantauan data.

C. Implementasi Metode K-Nearest Neighbor (KNN) Klasik

Implementasi metode K-Nearest Neighbor (KNN) klasik dalam studi ini dilakukan dengan menggunakan empat parameter emisi gas buang sebagai fitur input [10], yaitu karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), dan oksigen (O₂). Keempat parameter ini dibaca oleh sensor gas secara real-time dan dikonversi menjadi data numerik oleh mikrokontroler ESP32.

Data pembacaan sensor kemudian diproses menggunakan metode KNN klasik untuk menentukan kategori emisi kendaraan bermotor[11]. Kategori emisi dibagi menjadi lima kelas: baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya. Proses klasifikasi dilakukan dengan menghitung jarak Euclidean antara data uji dan data pelatihan yang sudah dilabeli kategori emisi[12]. Metode KNN klasik menentukan kelas data uji berdasarkan kelas mayoritas dari sejumlah tetangga terdekat.

Perhitungan jarak antara titik data dilakukan menggunakan rumus Jarak Euclidean sebagai berikut:

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

Deskripsi:

d: jarak proximity

n: jumlah atribut antara 1 dan n

x: data pelatihan

i: atribut individu antara 1 dan n

y: data pengujian

Nilai K ditentukan berdasarkan hasil pengujian untuk mendapatkan tingkat akurasi terbaik. Setelah proses klasifikasi selesai, sistem menghasilkan dua output, yaitu nilai numerik pembacaan sensor (CO, CO₂, HC, dan O₂) dan kategori tingkat emisi kendaraan bermotor. Semua data pengukuran dan klasifikasi kemudian secara otomatis dikirim ke Google Spreadsheet melalui koneksi internet menggunakan Antarmuka Pemrograman Aplikasi (API)[13]. Tujuan pengiriman data ini adalah untuk mencatat, memantau, dan menganalisis data emisi secara terpusat, sehingga hasil pengukuran dan klasifikasi dapat diakses secara real-time, memudahkan evaluasi dan visualisasi data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang Menggunakan Peralatan Uji Pabrik

Pengujian emisi gas buang kendaraan bermotor dilakukan pada empat sepeda motor menggunakan dua jenis bahan bakar, yaitu Pertalite dan Pertamax. Pengukuran awal dilakukan menggunakan peralatan pengujian emisi pabrik yang berfungsi sebagai acuan (ground truth) dalam menentukan kondisi emisi kendaraan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Emisi Menggunakan Peralatan Uji Pabrik

Kendaraan	BBM	CO%	HC PPM	CO ² %	O ² %	Kategori
Beat 2024	Pertamax	1.10	88	4	17.94	Baik
Beat 2014	Pertalite	0.10	197	11	12.91	Sedang
Beat 2015	Pertalite	0.21	67	6.8	15.37	Baik
Aerox 2023	Pertamax	1.12	100	14.5	14.82	Baik



Gambar 3. Pengujian Peralatan Pabrik pada Emisi Gas Buang Kendaraan

B. Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang Menggunakan Alat Rancang Bangun

Emisi gas buang kemudian diukur menggunakan perangkat yang dirancang berdasarkan mikrokontroler ESP32 dan sensor gas. Uji ini bertujuan untuk menentukan kemampuan perangkat dalam membaca nilai emisi gas buang kendaraan dan membandingkannya dengan hasil pengukuran menggunakan peralatan pengujian emisi pabrik. Data yang digunakan sebagai data uji dalam proses klasifikasi menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN).

Tabel 2. Data Uji dalam Proses Klasifikasi Menggunakan Algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN).

Kendaraan	BBM	CO%	HC PPM	CO ² %	O ² %	Kategori
Beat 2024	Pertamax	0.18	0.00	2302.85	21.00	Baik
Beat 2014	Pertalite	0.06	0.01	2298.65	21.00	Sedang
Beat 2015	Pertalite	0.24	0.00	5063.30	21.00	Tidak Sehat
Aerox 2023	Pertamax	1.29	0.00	395.00	21.00	Baik



Gambar 4. Pengujian dengan Menggunakan Alat Rancang Bangun

C. Perbandingan Hasil Pengukuran dari Peralatan Uji Pabrik dan Alat Rancang Bangun

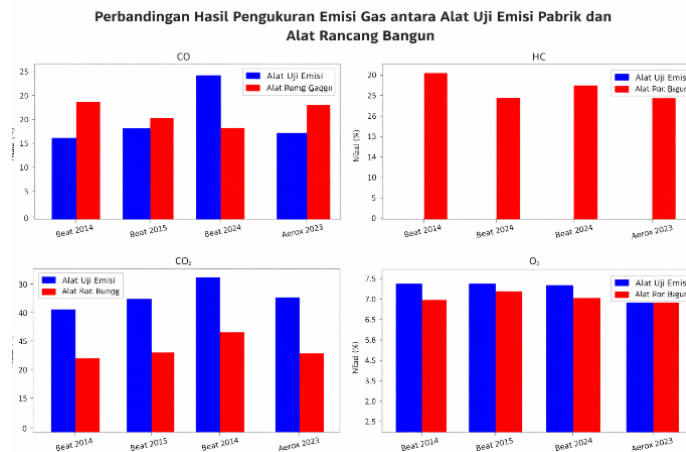
Perbandingan hasil pengukuran emisi gas buang dilakukan untuk menentukan tingkat kesesuaian antara peralatan pengujian emisi pabrik dan peralatan desain yang dikembangkan dalam studi ini. Perbandingan dilakukan untuk parameter CO, HC, CO₂, dan O₂ yang diukur pada kendaraan yang sama dalam kondisi pengujian yang serupa.

Tabel 3. Hasil Perbandingan Pengukuran Emisi

Kendaraan	Parameter	Alat uji emisi Pabrik	Alat Rancang bangun
Beat 2024	CO (%)	1.10%	0.18 %
	HC(ppm)	88 ppm	0.00 ppm
	CO ₂ (%)	4 %	2302.85%
	O ₂ (%)	17.94%	21.00 %
Beat 2014	CO (%)	0.10%	0.06 %
	HC(ppm)	197ppm	0.01 ppm
	CO ₂ (%)	11 %	5063.30%
	O ₂ (%)	12.91 %	21.00 %
Beat 2015	CO (%)	0.21 %	0.24 %
	HC(ppm)	67 ppm	0.00 ppm
	CO ₂ (%)	6.8 %	5063.30%
	O ₂ (%)	15.37 %	21.00 %
Aerox 2023	CO (%)	1.12 %	1.29 %
	HC(ppm)	100ppm	0.00 ppm
	CO ₂ (%)	14.5 %	395.00%
	O ₂ (%)	14.82 %	21.00 %

Berdasarkan tabel, terlihat bahwa deviasi tertinggi terjadi pada parameter CO dan CO₂ pada beberapa kendaraan, sedangkan HC hampir selalu mendekati 100% karena sensor membaca 0 ppm. Parameter O₂ menunjukkan deviasi besar terutama pada Beat 2014, kemungkinan akibat sensor membaca kadar oksigen lingkungan, bukan gas buang secara spesifik. Hasil ini menegaskan perlunya kalibrasi yang tepat dan pengujian lanjutan agar akurasi sensor lebih konsisten pada berbagai kendaraan dan kondisi pengujian

Untuk memudahkan perbandingan dan melihat pola deviasi pada tiap parameter, hasil pengukuran juga ditampilkan dalam grafik di bawah ini:



Gambar 5. Perbandingan nilai pengukuran CO, HC, CO₂, dan O₂ antara sensor dan alat uji emisi pada berbagai kendaraan.

D. Evaluasi Kinerja Sistem Menggunakan Confusion Matrix

Confusion matrix merupakan metode yang berfungsi untuk mengevaluasi dan mengukur efektivitas algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) dalam mengidentifikasi kondisi emisi kendaraan bermotor. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh sistem dengan kategori emisi aktual yang diperoleh dari alat uji emisi pabrik standar.

Dengan menggunakan *Confusion matrix*, jumlah sampel data yang diklasifikasikan dengan benar atau salah dalam setiap kategori emisi dapat diidentifikasi dengan jelas. Metode ini memungkinkan evaluasi yang lebih transparan dan kuantitatif terhadap akurasi sistem dalam membedakan antar berbagai kelas emisi kendaraan.

Tabel 4. Hasil Klasifikasi Emisi Kendaraan Confusion Matrix

Kategori Aktual / Prediksi	Baik	Sedang	Tidak sehat
Baik	2	0	1
Sedang	0	1	0
Tidak Sehat	0	0	0

E. Perhitungan Akurasi Sistem

Akurasi sistem digunakan untuk menentukan tingkat akurasi hasil klasifikasi emisi gas buang yang dihasilkan oleh sistem yang dirancang berdasarkan ESP32 dan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN). Perhitungan akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi sistem dengan kategori emisi aktual yang diperoleh dari peralatan pengujian emisi pabrik sebagai acuan (*ground truth*).

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada empat kendaraan bermotor, tiga titik data diklasifikasikan dengan benar dan satu titik data diklasifikasikan salah. Akurasi sistem dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah Prediksi yang Benar}}{\text{Data Uji Total}} \times 100\%$$

Tabel 5. Perhitungan Akurasi Sistem

Parameter	Nilai
Data Uji Total	4
Prediksi	3
Akurasi	75 %

Berdasarkan **Tabel 5**, sistem diuji menggunakan empat set data uji kendaraan bermotor. Dari semua data, tiga set data berhasil diklasifikasikan dengan benar oleh sistem, menghasilkan nilai akurasi sebesar 75%. Hasil ini

menunjukkan bahwa sistem berbasis ESP32 dengan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) mampu mengklasifikasikan emisi gas buang kendaraan dengan tingkat akurasi yang cukup baik.

F. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem desain berbasis ESP32 dengan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) mampu membaca parameter emisi CO, HC, CO₂, dan O₂ serta mengklasifikasikan kondisi emisi kendaraan bermotor. Secara umum, hasil pengukuran alat desain menunjukkan tren yang sama dengan alat pengujian emisi pabrik, meskipun terdapat perbedaan nilai pada beberapa parameter.

Perbedaan hasil pengukuran dipengaruhi oleh karakteristik sensor gas, kondisi lingkungan pengujian, dan posisi pemasangan sensor pada pipa knalpot. Hasil klasifikasi KNN yang telah diperoleh menunjukkan bahwa sebagian besar data yang diuji bisa dikategorikan sesuai dengan standar kualitas emisi, tetapi masih ada kesalahan klasifikasi yang terjadi akibat kesamaan nilai antar kategori dan keterbatasan data pelatihan.

Berdasarkan *Confusion matrix*, sistem yang diperoleh mencapai akurasi 75%, hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma KNN dapat diimplementasikan secara langsung pada ESP32 dan berfungsi dengan baik sebagai sistem pemantauan emisi kendaraan bermotor *real-time* secara sederhana.

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil desain, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan emisi gas buang kendaraan bermotor berbasis ESP32 dan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) telah berhasil dikembangkan dan berfungsi dengan baik. Sistem ini mampu membaca parameter emisi CO, HC, CO₂, dan O₂ serta mengklasifikasikan kondisi emisi kendaraan secara *real-time*.

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi 75%, yang diperoleh dari perhitungan matriks kebingungan. Nilai ini menunjukkan bahwa algoritma KNN dapat diimplementasikan langsung pada mikrokontroler ESP32 tanpa memerlukan perhitungan tambahan. Selain itu, sistem juga mampu mengirimkan data pengukuran dan klasifikasi ke Google Spreadsheet, sehingga memudahkan proses pencatatan dan pemantauan data emisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak/Ibu Dosen Pembimbing atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada rekan-rekan di Laboratorium Teknik Elektro yang telah menyediakan fasilitas, membantu pengambilan data, serta mendukung kegiatan penelitian dengan penuh kerjasama. Bantuan dan dukungan dari semua pihak sangat berarti bagi kelancaran penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A. H. F. Muchammad Aliffudin, Indah Sulitiyowati, "Sistem Monitoring Energy Mobil Listrik Terintegrasi IoT : Studi Kasus IMEI TEAM UMSIDA IoT Integrated Electric Car Energy Monitoring System : Case Study of IMEI TEAM UMSIDA," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, pp. 189–196, 2024.
- [2] M. Yudha, "Analisis Kondisi Polusi Udara Berdasarkan Perubahan Waktu Menggunakan IoT dan Logika Fuzzy : Solusi Mencegah Dampak Polusi Terhadap Kesehatan Air Pollution Condition Analysis Based on Time Change Using IoT and Fuzzy logic : a Solution to Prevent The Impac," 2025.
- [3] S. Machmud, "Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Mesin Nusant.*, vol. 4, no. 1, pp. 21–29, 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16038.
- [4] B. Chaudhari and H. A. Gujarathi, "Vehicle Emission Mointoring and Control Using Iot," *Ymer*, vol. 23, no. 05, pp. 1118–1135, 2024.
- [5] H. Gunawan, A. Chusyairi, and M. I. Saputra, "Penerapan K-Nearest Neighbor Dengan Metode Euclidean Distance Untuk Klasifikasi Tingkat Ketebalan Cat Di PT XYZ," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 59–72, 2025, doi: 10.65258/jutekom.v1.i2.12.
- [6] S. Syahririni, D. Syamsudin, D. H. R. Saputra, and A. Ahfas, "K-Nearest Neighbor Algorithm to Identify Cucumber Maturity with Extraction of One-Order Statistical Features and Gray-Level Co-Occurrence," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 819, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/819/1/012010.
- [7] B. V. Jayadi, T. Handhayani, M. D. Lauro, T. Informatika, and U. Tarumanagara, "KUALITAS UDARA DI JAKARTA".
- [8] G. Minhatul Maula, "Efektivitas Implementasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara di Indonesia," *Savana Indones. J. Nat. Resour. Environ. Law*, vol. 1, no. 2, pp. 145–159, 2024, doi:

- 10.25134/savana.v1i2.223.
- [9] F. Faris, I. Sulistiyowati, A. H. Falah, A. Ahfas, and K. Sidoarjo, "22724-Article Text-88584-1-10-20241213," vol. x, no. 1, pp. 196–207, 2024.
- [10] C. Ramadhani, "Analisis Penerapan Model K-Nearest Neighbors (KNN) dalam Machine Learning untuk Menentukan Konsentrasi Program Studi Siswa Kelas 12 di Sekolah SMK Tritech Informatika," 2026.
- [11] M. D. Anggraeni, K. Kusri, and M. R. Arief, "K-Nearest Neighbor Algorithm for Classification Inaccuracy in Payment of SPP Money," *JTECS J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, p. 67, 2024, doi: 10.32503/jtecs.v4i1.4891.
- [12] R. C. Irjayana, A. Fadlil, and R. Umar, "Pengaruh Seleksi Fitur Terhadap Klasifikasi Indeks Standar Pencemar Udara Menggunakan Naïve Bayes," *Insect (Informatics Secur. J. Tek. Inform.*, vol. 11, no. 1, pp. 67–78, 2025, doi: 10.33506/insect.v11i1.4303.
- [13] A. M. 'Aafi, J. Jamaaluddin, and I. Anshory, "Implementasi Sensor Pzem-017 Untuk Monitoring Arus, Tegangan dan Daya Pada Instalasi Panel Surya dengan Sistem Data Logger Menggunakan Google Spreadsheet dan Smartphone," *SNESTIK Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform.*, pp. 191–196, 2022, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/snestikdanhttps://snestik.itats.ac.id>

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.