Rancang Bangun Alat Monitoring Indeks Standar Pencemar Udara Berdasarkan Konsentrasi CO dan NO_2

D.M. Razaan[1], Sumeru[2], M.A. Falahuddin[3]

[1] *Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : daffa.muammar.tptu23@polban.ac.id
[2] *Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : sumeru@polban.ac.id
[3] *Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : m.andafalahuddin@polban.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran udara di ruang terbuka maupun terbatas merupakan ancaman nyata bagi kesehatan manusia. Tugas Akhir ini bertujuan merancang dan membangun alat Monitoring Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) berbasis Internet of Things (IoT) yang berfokus pada pemantauan gas Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO_2). Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, sensor MQ-7 untuk deteksi CO, sensor Fermion MEMS untuk deteksi NO_2, serta sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan. Data konsentrasi polutan dikonversi menjadi nilai ISPU melalui metode interpolasi linear, kemudian ditampilkan secara Real-time pada Panel LED P10 RGB sebagai media informasi lokal, sekaligus diunggah ke Firebase Realtime Database untuk diakses melalui dashboard interaktif. Hasil pengujian fungsional menunjukkan seluruh komponen bekerja dengan status "Sesuai". Pengujian akurasi sensor MQ-7 memperlihatkan hubungan linear positif yang kuat jika dibandingkan dengan alat ukur standar Multigas Monitor AS8900. Sementara itu, sensor Fermion MEMS menunjukkan sensitivitas responsif terhadap perubahan polutan asap kendaraan, meskipun pengukurannya masih bersifat indikatif akibat keterbatasan fasilitas kalibrasi standar NO_2. Pengujian di berbagai skenario lingkungan membuktikan alat ini konsisten, andal, dan adaptif mendeteksi fluktuasi kualitas udara. Alat ini diharapkan mampu memberikan perlindungan preventif serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya kualitas udara demi keberlangsungan hidup sehat.

Kata Kunci:
Kualitas Udara, CO, NO_2, ISPU, ESP32

Air pollution in both open and confined spaces poses a real threat to human health. This Final Project aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based Air Pollutant Standard Index (ISPU) monitoring device focused on monitoring Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Dioxide (NO_2) gases. This system utilizes an ESP32 microcontroller as the central data processor, an MQ-7 sensor for CO detection, a Fermion MEMS sensor for NO_2 detection, and a DHT22 sensor to measure temperature and humidity. Pollutant concentration data is converted into ISPU values through a linear interpolation method, then displayed in real-time on a P10 RGB LED Panel as a local information medium, and simultaneously uploaded to a Firebase Realtime Database to be accessed via an interactive dashboard. The functional testing results indicate that all components operate with a "Compliant" status. The accuracy testing of the MQ-7 sensor reveals a strong positive linear relationship when compared to the standard AS8900 Multigas Monitor. Meanwhile, the Fermion MEMS sensor demonstrates responsive sensitivity to changes in vehicle exhaust pollutants, although its measurements remain indicative due to the limitations of standard NO_2 calibration facilities. Testing across various environmental scenarios proves that this device is consistent, reliable, and adaptive in detecting air quality fluctuations. This device is expected to provide preventive protection and increase public awareness regarding the importance of air quality for sustainable healthy living.

Keywords:
Air Quality, CO, NO_2, ISPU, ESP32

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara di berbagai wilayah Indonesia menunjukkan kecenderungan yang makin mengkhawatirkan dan telah menjadi isu strategis kesehatan lingkungan. Beragam sumber emisi berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara, di antaranya pembakaran terbuka, emisi kendaraan bermotor (penyumbang 70-80% CO dan NOx di perkotaan), proses industri, hingga aktivitas rumah tangga (1). Pada ruang terbatas (*Confined spaces*), potensi bahaya akibat pencemaran udara bahkan lebih tinggi, seperti kekurangan oksigen, paparan gas CO atau NO_2, dan gas mudah terbakar lainnya, sehingga diperlukan aturan perlindungan bagi pekerja dan aset (2).

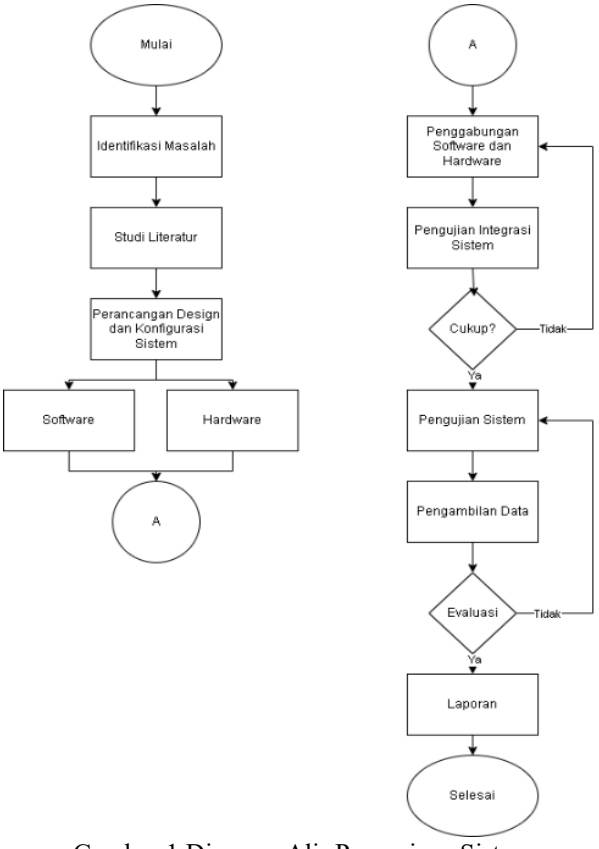
Indeks kualitas udara pada ruang terbuka ditentukan dengan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang dilaporkan secara berkala oleh instansi pemerintah, sementara pengukuran pada ruang tertutup masih jarang dilakukan secara masif (3). Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring kualitas udara yang mampu memantau

konsentrasi dua parameter utama ISPU, yaitu Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO_2), menggunakan sensor MQ-7 yang memiliki sensitivitas tinggi dan waktu respon cepat untuk CO (4), serta sensor Fermion MEMS *Nitrogen Dioxide* berbasis elektrokimia untuk NO_2 (5).

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana merancang sistem monitoring indeks standar pencemar udara berdasarkan konsentrasi CO dan NO_2, serta bagaimana performansi sistem yang dibangun. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem tersebut dan menguji performansinya, mencakup pengukuran konsentrasi CO menggunakan sensor MQ-7, pengukuran konsentrasi NO_2 menggunakan sensor Fermion MEMS, serta monitoring data secara *real-time* melalui Panel LED Matrix.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Pengerjaan Sistem



Gambar 1.Diagram Alir Pengerjaan Sistem

2.2 Tahapan Penelitian

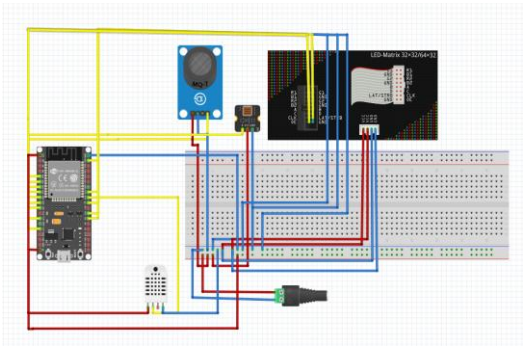
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perancangan *hardware* dan *software*, hingga pengujian dan kalibrasi sistem. Skema kerja sistem monitoring secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1. Setiap tahapan saling berkaitan untuk menghasilkan sistem monitoring ISPU berbasis IoT yang mampu memantau konsentrasi CO dan NO_2 secara *real-time*.

2.2.1 Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* meliputi integrasi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor MQ-7 untuk deteksi CO, sensor Fermion MEMS untuk deteksi NO_2, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, *Power Supply* sebagai sumber daya, serta Panel Modul LED P10 RGB sebagai tampilan informasi lokal. Kebutuhan perangkat keras utama sistem ditampilkan pada Tabel 1 dan koneksi antar komponen ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 1.Kebutuhan Perangkat Keras Utama Sistem Monitoring ISPU

No	Komponen	Jml	Fungsi
1	ESP32 Dev. Board	1	Pemrosesan & pengiriman data
2	Sensor MQ-7	1	Deteksi gas CO
3	Fermion MEMS NO_2	1	Deteksi gas NO_2
4	Sensor DHT22	1	Suhu & kelembapan
5	Panel LED P10 RGB	3	Tampilan lokal
6	Power Supply 5V 20A	1	Catu daya



Gambar 2.Rancangan *Hardware*

2.2.2 Perancangan Software

Perancangan *software* berpusat pada dua komponen utama, yaitu firmware ESP32 yang diprogram menggunakan C++ di Arduino IDE untuk akuisisi data sensor dan perhitungan ISPU, serta *dashboard* berbasis HTML yang menerima dan menampilkan data secara real-time dari *Firebase Realtime Database*. Nilai konsentrasi CO dan NO_2 hasil pengukuran dikonversi menjadi indeks ISPU melalui metode interpolasi linear sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$I = \frac{Ia - Ib}{Xa - Xb}(Xx - Xb) + Ib \quad (1)$$

dengan keterangan:

I = ISPU terhitung
Ia = ISPU batas atas
Ib = ISPU batas bawah
Xa = Konsentrasi ambien batas atas (µg/m^3)
Xb = Konsentrasi ambien batas bawah (µg/m^3)
Xx = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m^3)

kemudian, ESP 32 mengirimkan data PPM dan ISPU tersebut secara periodik melalui Wi-Fi ke *server Firebase*, *dashboard* bertindak sebagai *interface frontend* yang menerima data, menampilkannya secara *Real-time* dalam

bentuk *Widget* sebagaimana yang ditunjukan pada Gambar 3.

Gambar 3.Tampilan *dashboard*

2.2.3 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional bertujuan memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak bekerja sesuai fungsinya, mencakup pembacaan data sensor, pemrosesan algoritma ISPU, pengiriman data ke *Firebase*, dan tampilan output pada Panel LED P10 RGB serta *dashboard* HTML. Setiap aspek diuji dan dicatat statusnya sebagai "Sesuai" atau "Tidak Sesuai" terhadap fungsi yang diharapkan.

2.2.4 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor MQ-7 dilakukan dengan metode perbandingan langsung terhadap alat ukur standar Multigas Monitor AS8900, sedangkan kalibrasi sensor DHT22 dilakukan dengan cara yang sama terhadap alat ukur standar HT3006A, kemudian dianalisis menggunakan regresi linear sederhana. Sensor Fermion MEMS untuk NO_2 dikalibrasi berdasarkan karakteristik datasheet dan diuji responsnya terhadap sumber polutan asap kendaraan, mengingat tidak tersedianya alat ukur referensi NO_2. Pengujian lapangan juga dilakukan pada tiga kondisi lingkungan, yaitu ruangan udara bersih, ruangan berpolutan asap rokok, dan luar ruangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Fungsional

Tabel 2.Data Pengujian Fungsional Sistem Monitoring ISPU

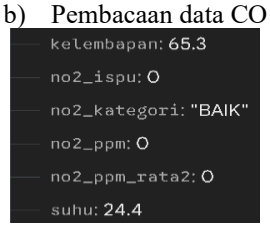
No	Pengujian	Status
1	Sistem menyala & stabil	Sesuai
2	Pembacaan CO (MQ-7)	Sesuai
3	Pembacaan NO_2 (Fermion MEMS)	Sesuai
4	Pembacaan suhu & RH (DHT22)	Sesuai
5	Perhitungan ISPU	Sesuai
6	Tampilan Panel LED P10 RGB	Sesuai
7	Transmisi ke Firebase & dashboard	Sesuai

Pengujian fungsional mencakup pembacaan konsentrasi gas CO oleh sensor MQ-7 dan gas NO_2 oleh sensor Fermion MEMS, pembacaan suhu dan kelembapan oleh sensor DHT22, pemrosesan data ISPU oleh mikrokontroler ESP32, tampilan data real-time pada Panel LED P10 RGB, pengiriman data ke *Firebase Realtime Database*, serta visualisasi pada *dashboard* HTML. Seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa ketujuh aspek tersebut berfungsi dengan baik sesuai perancangan, dengan status "Sesuai" pada setiap pengujian, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

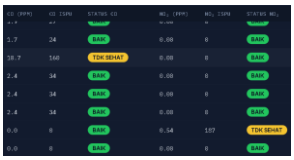
a) Pengecekan sistem

b) Pembacaan data CO

c) Pembacaan data NO_2



d) Pembacaan data suhu dan RH



e) Pembacaan dan nilai kategori ISPU

f) Tampilan *real-time* panel

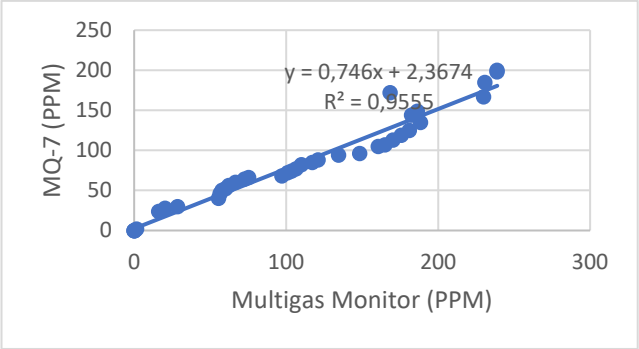
g) Tampilan *dashboard*

Gambar 4.Dokumentasi Pengujian Fungsional: Tampilan Panel LED P10 RGB dan Dashboard Monitoring

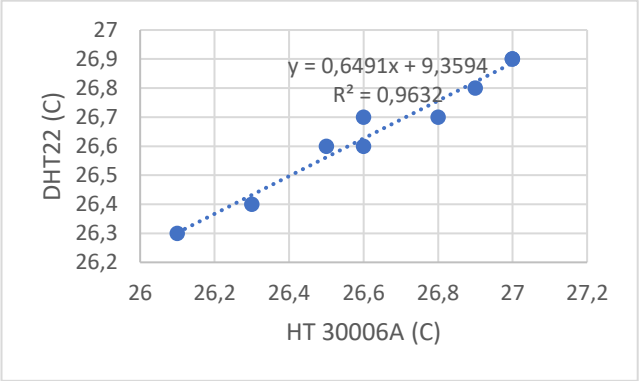
3.2 Kalibrasi dan Akurasi Sensor

Kalibrasi dilakukan dengan analisis regresi linear sederhana antara pembacaan sensor terhadap alat ukur standar. Sensor MQ-7 menunjukkan hubungan linear positif yang sangat kuat terhadap Multigas Monitor AS8900 dengan persamaan regresi $y = 0{,}746x + 2{,}3674$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0{,}9555$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, yang berarti model mampu menjelaskan 95,55% variasi data pembacaan sensor. Sensor DHT22 juga menunjukkan korelasi linear kuat terhadap alat ukur standar HT3006A, dengan $R^2 = 0{,}9632$ untuk suhu dan $R^2 = 0{,}8132$ untuk kelembapan relatif, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3 dan grafik regresinya masing-masing ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Sementara itu, sensor Fermion MEMS untuk NO_2 tidak dapat dikalibrasi terhadap alat ukur standar akibat keterbatasan fasilitas kalibrasi gas NO_2, namun pengujian dengan sumber polutan asap kendaraan menunjukkan sensor merespons cepat (naik hingga 0,2-0,24 PPM saat terpapar) dan pulih mendekati 0 PPM ketika sumber dijauhkan, membuktikan sensitivitas dan

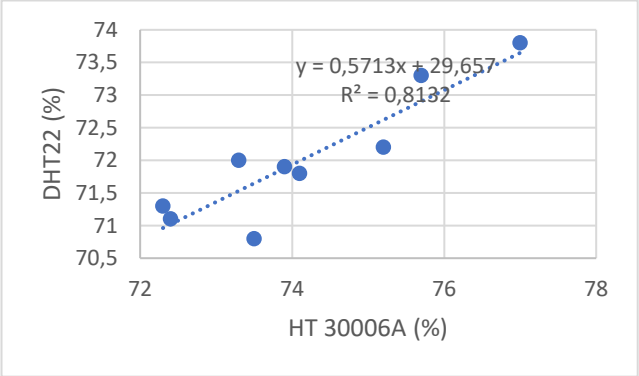
kemampuan pemulihan yang baik meskipun nilai yang dihasilkan masih bersifat indikatif.



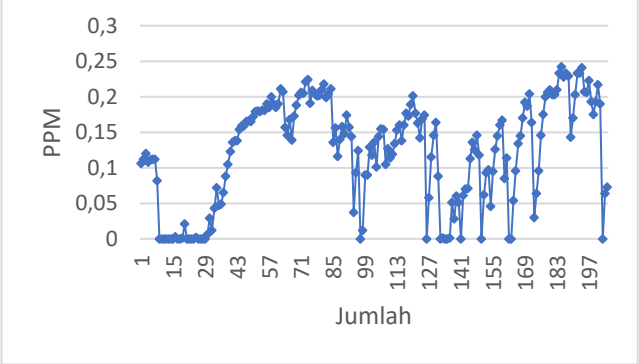
Gambar 5.Grafik Regresi Kalibrasi Sensor CO (MQ-7) terhadap Multigas Monitor AS8900



Gambar 6.Grafik Regresi Kalibrasi Suhu DHT22 terhadap HT3006A



Gambar 7.Grafik Regresi Kalibrasi Kelembapan (RH) DHT22 terhadap HT3006A



Gambar 8.Pengetesan sensor NO_2

Tabel 3.Hasil Regresi Kalibrasi Sensor terhadap Alat Ukur Standar

Parameter	Persamaan	R^2
CO (MQ-7 vs AS8900)	y=0,746x+2,3674	0,9555
Suhu (DHT22 vs HT3006A)	y=0,6491x+9,3594	0,9632
RH (DHT22 vs HT3006A)	y=0,5713x+29,657	0,8132

3.3 Pengujian pada Berbagai Kondisi Lingkungan

Pengujian pada ruangan berudara bersih menunjukkan pembacaan CO hampir seluruhnya berada di 0 PPM (ISPU kategori "Baik") dan NO_2 konstan di 0 PPM, membuktikan sistem tidak menghasilkan pembacaan palsu. Pada pengujian ruangan berpolutan asap rokok, sensor MQ-7 menunjukkan lonjakan berulang hingga 70-75 PPM (ISPU kategori "Tidak Sehat"), sementara pembacaan NO_2 tetap 0 PPM, membuktikan selektivitas sensor Fermion MEMS tanpa interferensi silang terhadap CO. Pada pengujian luar ruangan, pembacaan CO tetap konsisten 0 PPM, sedangkan NO_2 berfluktuasi dinamis hingga 0,7 PPM (ISPU kategori "Sedang") yang diduga berasal dari emisi kendaraan bermotor. Suhu pada ketiga kondisi berada pada rentang 25,7-27,5°C dan kelembapan relatif pada rentang 58-72%. Secara keseluruhan, pengujian pada berbagai skenario lingkungan membuktikan bahwa sistem yang dibangun konsisten, andal, dan adaptif dalam mendeteksi fluktuasi kualitas udara.

4. KESIMPULAN

Sistem monitoring Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan, mengintegrasikan sensor MQ-7 (CO), sensor Fermion MEMS (NO_2), dan sensor DHT22 (suhu dan kelembapan). Konsentrasi polutan berhasil dikonversi secara otomatis menjadi nilai ISPU melalui interpolasi linear dan ditampilkan secara real-time melalui Panel LED P10 RGB serta dashboard berbasis *Firebase Realtime Database*.

Pengujian fungsional menunjukkan seluruh komponen berstatus "Sesuai". Sensor CO (MQ-7) menunjukkan akurasi yang sangat baik dengan hubungan linear positif yang kuat ($R^2 = 0,9555$) terhadap alat ukur standar Multigas Monitor AS8900, sementara sensor NO_2 (Fermion MEMS) memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan polutan meski nilai pembacaannya masih bersifat indikatif akibat keterbatasan fasilitas kalibrasi standar NO_2. Pengujian pada berbagai skenario lingkungan membuktikan bahwa sistem ini konsisten, andal, dan adaptif dalam mendeteksi fluktuasi kualitas udara. Pengembangan lebih lanjut disarankan pada kalibrasi sensor NO_2 menggunakan gas standar bersertifikat serta penambahan parameter polutan lain seperti PM2.5 atau SO2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung,

atas fasilitas laboratorium dan bengkel yang digunakan dalam perancangan dan pengujian alat, serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

1. Haya F, Nisa K, Ladipasa RF, Suriani A, Media A. Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Manusia. 2025;3.
2. Masribut, Clinton S. Analisis Prosedur Pelaksanaan pada Pekerja di Ruang Terbatas (Confined Space) pada Perbaikan Tangki CPO di PT. Tunggal Perkasa Plantations Air Molek. Al-Tamimi Kesmas. 2016;5(2):41–9.
3. Rahmatullah R. Monitoring Indeks Standar Pencemaran Udara di Kota Palembang Berbasis Internet of Things. 2024;
4. Salman, Amirah; Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Udara Pada Kawasan Industri Berbasis Internet Of Things (Iot). SISITI Semin Ilm Sist … [Internet]. 2022;XI(1):143–52. Available from: https://www.ejurnal.dipanegara.ac.id/index.php/sisiti/article/view/955%0Ahttps://www.ejurnal.dipanegara.ac.id/index.php/sisiti/article/download/955/700
5. Andrizal, Yani PI, Antonisfia Y. Monitoring Dan Kontrol Kadar Co2 Dalam RuanganBerbasis Sistem Penciuman Elektronik. Semin Nas Terap Ris Inov [Internet]. 2020;6(1):388–95. Available from: https://proceeding.isas.or.id/index.php/sentrinov/article/view/380
6. Wulandari E. Unnes Journal of Public Health. 2013;2(4):1–9. Available from: http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujph%0AFAKTOR
7. Baskara S, Lelono D, Widodo TW. Pengembangan Hidung Elektronik untuk Klasifikasi Mutu Minyak Goreng dengan Metode Principal Component Analysis. IJEIS (Indonesian J Electron Instrum Syst. 2016;6(2):221.
8. Damara DY, Wardhana IW, Sutrisno E. Analisis Dampak Kualitas Udara Karbon Monoksida (CO) di Sekitar JL . Pemuda Akibat Kegiatan Car Free Day Mengunakan Program Caline4 dan Surfer (Studi Kasus : Kota Semarang). 2017;6(1).
9. Farikah T, Maddusa SS, Sumampouw OJ. Analisis Kadar Nitrogen Dioksida (NO 2) di Area Parkir Basement Jumbo Swalayan Kota Manado Tahun 2018. 2018;7(5).
10. Due A, Rivai M. Sistem Sensor Gas Elektrokimia yang. 2018;7(2).
11. Fatkhurrahman IRJS dan JA. Peluang Penggunaan Sensor Elektrokimia Sebagai Instrumen Pemantauan Kualitas Udara Ambien. 2021;(22):238–42.
12. M. Faisal Kahfi S. Implementasi Internet of Things Berbasis ESP32 dan Blynk untuk Monitoring Mikroklimat Ruang Hunian. 2026;4(1):616–21.
13. Suwanda I. Sistem Monitoring Listrik Tiga Phasa Berbasis Panel LED P10. 2024;5(2):49–54.
14. Susilo WN, Aryani D, Setiawati P, Akhirianto PM. Sistem Monitoring Voltage Power Station Berbasis Mikrokontroler ESP 32. 2023;08(01):21–9.
15. Adi N, Kusuma A, Adi M, Putra P. Implementasi Sistem IoT Berbasis ESP32 untuk Monitoring dan Pemberian Pakan Otomatis Ikan Lele. 2025;9(2):214–29.