

Remote Sensor untuk Monitoring CO dan NO₂ Terpublikasi Online

Alfiandi Aulia Rahmadani¹, Budhy Setiawan², Donny Radianto³

e-mail: Alfirahma4@gmail.com, Budhy.setiawan@polinema.ac.id, Donny.radianto@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 13 November 2023

Direvisi 16 April 2024

Diterbitkan 31 Mei 2024

Kata kunci:

Sensor Jarak Jauh

CO dan NO₂

Algoritma Pohon Keputusan

ABSTRAK

Kualitas udara penting untuk keberlangsungan hidup seluruh ekosistem. Udara mengandung berbagai zat yakni, CH₄, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, PM₁₀, dan lain sebagainya. Pada kadar tertentu zat tersebut berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan. Penelitian ini membahas sistem remote sensor menggunakan komunikasi Wi-Fi pada ESP32 dan Algoritma Decision Tree sebagai klasifikasi nilai ke ISPU untuk kadar CO dan NO₂ yang data hasil pembacaan dikirimkan ke server database MySQL kemudian data tertampil pada website dan pada LCD Grafik 128x64. Berdasarkan pengujian yang dilakukan sistem berjalan sesuai dengan perencanaan, dimana sensor dapat mendeteksi CO dan NO₂ dengan sampling per 5 detik kemudian nilai pembacaan akan diklasifikasi menggunakan Algoritma Decision Tree dan hasil pembacaan akan dikirimkan ke database setiap 30 detik dan tertampil pada website dengan jeda pengiriman selama 5 detik serta data pada website dapat diunduh dalam format CSV. Dari hasil pengamatan respon sensor MQ-7 terhadap kadar Karbon Monoksida (CO) selama 1 hari diperoleh rata-rata sebesar 50,05 ug/m³. Pada sensor MQ-135 terhadap kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) diperoleh rata-rata sebesar 45,15 ug/m³.

ABSTRACT

Air quality is important for the survival of the entire ecosystem. Air contains various substances, namely, CH₄, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, PM₁₀, and so on. At certain levels these substances have the potential to cause health problems. This study discusses a remote sensor system using Wi-Fi communication on ESP32 and the Decision Tree Algorithm as a classification of values to the ISPU for CO and NO₂ levels whose reading data is sent to the MySQL database server then the data is displayed on the website and on a 128x64 Graphic LCD. Based on the tests carried out the system runs according to plan, where the sensor can detect CO and NO₂ by sampling per 5 seconds then the reading value will be classified using the Decision Tree Algorithm and the reading results will be sent to the database every 30 seconds and displayed on the website with a delivery delay of 5 seconds and data on the website can be downloaded in CSV format. From the results of observations of the MQ-7 sensor's response to Carbon Monoxide (CO) levels for 1 day, an average of 50.05 ug/m³ was obtained. On the MQ-135 sensor, the level of Nitrogen Dioxide (NO₂) was obtained on average at 45.15 ug/m³.

Keywords:

Remote Sensor

CO dan NO₂

Decision Tree Algorithm

Penulis Korespondensi:

Alfiandi Aulia Rahmadani,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65141.

Email: Alfirahma4@gmail.com

Nomor HP/WA aktif: +62 858-5064-3446



1. PENDAHULUAN

Di Indonesia laju pertumbuhan penduduk semakin meningkat. Berdasarkan bps.go.id, terdapat 270,20 juta penduduk di negara ini berdasarkan temuan sensus penduduk (SP2020) pada September 2020. Dengan luas daratan Indonesia 1,9 juta km², jumlah penduduk pada SP2020 meningkat 32,56 juta dibandingkan SP2010, kepadatan penduduk Indonesia 141 jiwa per km² [1]. Hal ini menyebabkan peningkatan pembangunan baik pembangunan perkotaan maupun pembangunan ekonomi yang pesat. Banyaknya kegiatan yang dilakukan, menyebabkan banyak perubahan lingkungan. Salah satu kegiatan yang berdampak signifikan terhadap lingkungan adalah pembakaran. Kegiatan pembakaran dapat berasal dari kendaraan bermotor, rokok, kegiatan rumah tangga, kegiatan industri dan kegiatan lainnya. Kegiatan pembakaran tersebut menghasilkan gas buang hasil pembakaran yang berbahaya bagi lingkungan.

Gas-gas pencemar tersebut sebagaimana dijelaskan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 41 tahun 1999 dalam lampiran menyebutkan baku mutu udara nasional yaitu PM₁₀, PM_{2.5}, TSP (Debu), Pb (Timbal), Debu Jatuh, Fluorida Total (sebagai F), Indeks Fluorin, Klorin & Klorin Dioksida, dan Indeks Sulfat adalah beberapa polutan udara yang diukur. SO₂ (Sulfur Dioksida), CO (Karbon Monoksida), NO₂ (Nitrogen Dioksida), O₃ (Oksidan), HC (Hidro Karbon) [2]. Gas pencemar ini merupakan gas yang berbahaya bila terhirup, pada kadar tertentu dapat menyebabkan alergi, radang paru-paru, asma, bronkitis dan gangguan pernafasan lainnya yang dapat berakibat fatal. Di Indonesia selama dua dekade terakhir kualitas udara Indonesia masuk ke 20 negara teratas yang mengalami kualitas udara buruk [3].

Pemerintah Indonesia telah membuat Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yakni standar yang dibuat oleh pemerintah Indonesia yang berfungsi sebagai pelaporan kualitas udara yang memberikan informasi tentang tingkat kebersihan udara dan dampak pencemar udara yang memiliki indeks tertentu. Pada laman website BMKG telah dipublikasikan hasil pengukuran manual dan otomatis beberapa kadar pencemar udara, namun belum mencantumkan hasil untuk karbon monoksida (CO) dan titik pengukurannya masih terbatas serta pelaporannya tidak real time, misalnya untuk NO₂ di tiga wilayah, yaitu DKI Jakarta, Sumatera Barat, dan Kalimantan [4]. Beberapa penelitian berdasarkan permasalahan yang berkaitan dengan kualitas udara telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pemantauan kualitas udara (CO, CO₂, PM_{2.5}, suhu, dan kelembaban) dalam bentuk pemantau di dalam ruangan menggunakan *internet of things* dan jaringan sensor nirkabel [5] [6] [7]. Penelitian lain tentang pemantauan kualitas udara adalah penelitian yang berkaitan dengan perbandingan beberapa sensor murah [8]–[10] [9] [10]. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, kami menggunakan sensor dengan harga yang relative murah, menempatkan sensor di titik tertentu yang berpotensi menimbulkan gas berbahaya yang masuk dalam jenis gas buang hasil pembakaran sesuai dengan kadar pencemar yang ada pada ISPU. Pendataan yang responsif yang dapat menampilkan data kadar kualitas udara berdasarkan ISPU kepada pengguna melalui website juga merupakan pengembangan dari penelitian ini.

Mempertimbangkan bagaimana masalah yang dijelaskan sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan merencanakan sistem *remote sensor* kualitas udara (CO, dan NO₂) dengan menggunakan metode *Internet of Things* akan diterapkan pada kualitas udara ke mikrokontroler ESP32 Devkit V1 yang lebih kompatibel dengan dilengkapi penggunaan algoritma *decision tree*. Peneliti menggunakan *database* MySQL sebagai database penyimpanan kualitas udara. Sistem algoritma *decision tree* dapat digunakan sebagai data mining yang mengklasifikasikan dan mengolah data parameter ISPU menjadi informasi yang memberikan tingkat kualitas udara yang kemudian dipublikasikan pada halaman web yang dapat menampilkan data kepada pengguna secara *real-time*.

2. METODE PENELITIAN

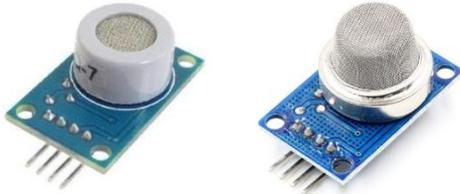
Pada penelitian ini dirancang alat *remote sensor* yang dapat *memonitoring* kadar polutan CO dan NO₂ secara *realtime* menggunakan mikrokontroler dari Espressif ESP32 Devkit V1 (Gambar 1.), MQ-7, dan MQ-135 (Gambar 2.). Diagram blok dirancang seperti pada Gambar 3. ESP32 Devkit V1 adalah mikrokontroler on-chip berdaya rendah dengan kemampuan dual-mode Wi-Fi dan Bluetooth [11]. MQ-7 dan MQ-135 dipilih untuk mengukur konsentrasi CO dan NO₂. Sensor MQ-7 dan MQ-135 akan memberikan tingkat konsentrasi dengan



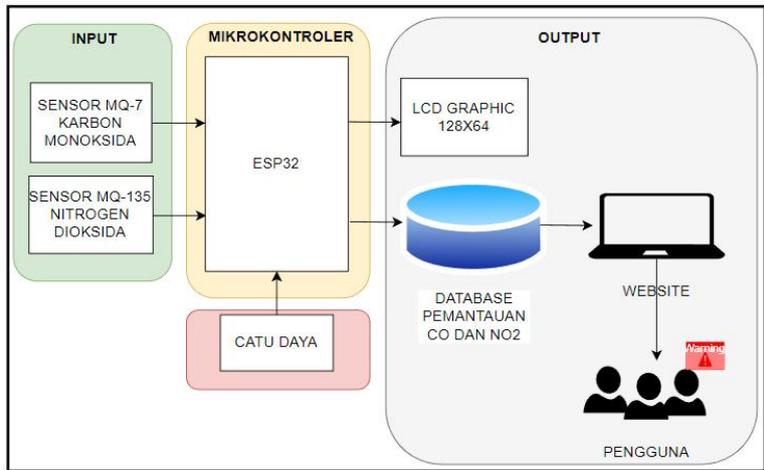
mengubah nilai tahanan beban dan mengkalibrasi sensor sesuai prosedur. Kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan standar konsentrasi sesuai lembar data yang diperlukan dalam Arduino IDE. Data hasil pembacaan sensor yang ditangkap oleh mikrokontroler ESP32 selanjutnya akan diproses oleh algoritma Decision Tree yang selanjutnya akan masuk ke server database MySQL. kemudian pergi ke pengolahan data MySQL. Setelah masuk ke data yang diproses akan masuk ke data lake yang selanjutnya masuk ke big data warehouse. yang kemudian akan mengirimkan data tersebut ke pengguna dalam bentuk website yang dapat diakses dari ponsel atau PC.



Gambar 1: ESP32 Devkit Doit V1

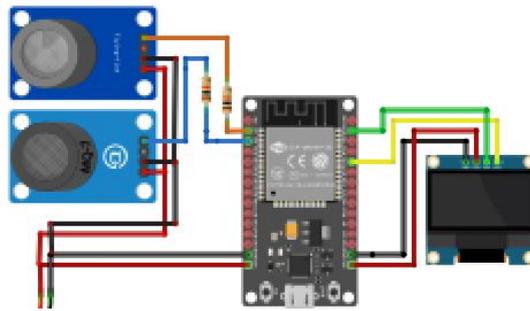


Gambar 2: Sensor MQ-7 (Karbon Monoksida) dan Sensor MQ-135 (Nitrogen Dioksida)



Gambar 3: Diagram Blok Sistem





Gambar 3: Rangkaian Elektronik Alat

2.1 ESP32 Devkit Doit V1

Sistem berdaya rendah pada chip mikrokontroler dengan kemampuan Wi-Fi adalah modul ESP32, yang digambarkan pada Gambar 1. Aplikasi IoT dan teknologi yang dapat dipakai mendukung modul ini. Jam, pengatur waktu, osilator jam (internal 8MHz dan eksternal sekitar 2-60 MHz osilator kristal), perangkat keras keamanan, memori (448 kB ROM, 520 kB SRAM), dan osilator jam semuanya termasuk dalam modul ini (boot aman, enkripsi flash) . Karena dibangun dengan beberapa saluran ADC, seri ESP32 bekerja paling baik saat mengintegrasikan beberapa sensor sekaligus. Kisaran suhu yang disarankan untuk operasi biasa adalah antara -40 dan +125.

2.2 Sensor Gas MQ-7

Sensor gas MQ-7 dapat mendeteksi polutan di udara sekitar pada konsentrasi antara 20 dan 2000 ppm dan sangat sensitif terhadap karbon monoksida. MQ7 memiliki zat sensitif bernama SnO₂ yang memiliki konduktivitas lebih rendah dan dapat mendeteksi CO pada suhu rendah menggunakan siklus suhu tinggi dan rendah. Ini sering digunakan dalam detektor kebocoran gas rumah tangga dan portable [12].

2.3 Sensor Gas MQ-135

MQ-135, sering disebut sebagai "Sensor Kualitas Udara", memiliki sensitivitas tinggi terhadap NH_x, CO₂, Benzene, dan gas berbahaya lainnya. Sensor ini dapat digunakan untuk deteksi gas berbahaya di lingkungan industri dan rumah, serta sistem pemantauan polusi udara. Fitur teknis sensor ini mencakup arus operasi 40mA dan jangkauan deteksi untuk CO₂ dan NH₃ masing-masing hingga 10.000 dan 300.000 ppm [13].

2.4 Kalibrasi Sensor MQ

Tegangan Analog diubah menjadi resistansi analog menggunakan rumus:

$$R_L * (1023 - raw_{adc}) / raw_{adc} \quad (1)$$

Nilai dikalibrasi beberapa kali untuk mendapatkan nilai yang konsisten dengan menulis satu lingkaran dan meratakan nilai yang dijumlahkan. Setelah menghitung resistansi sensor di udara bersih, dibagi dengan RO, yaitu sekitar 10. Ini juga sedikit berbeda di antara sensor yang berbeda. Sekarang, resistansi sensor dikalibrasi beberapa kali di lingkungan yang bersih untuk menghasilkan nilai Rs, yang juga merupakan nilai rata-rata dari sebuah loop yang dieksekusi. Rasio Rs/RO dihitung dari nilai numerik yang diperoleh. PPM dihitung dari rumus di bawah ini

$$PPM = 10^{(\log(Rs/RO) - pcurve[1]) / pcurve[2] + pcurve[0]} \quad (2)$$

di mana, pcurve [0], pcurve [1] adalah dua titik mana pun pada Rs/RO versus grafik konsentrasi dari sensor MQ tertentu. Pcurve [2] adalah kemiringan graf yang sama.

2.5 Algoritma Decision Tree

Algoritma C4.5 sering digunakan karena proses pembagian dan pengolahan data mudah digunakan. Algoritma ini berguna untuk mengklasifikasikan pembacaan data dalam jangkauan ISPU ke dalam tingkat kualitas udara yang akan ditampilkan di website. Algoritma C4.5 memudahkan proses penggalian aturan klasifikasi, dalam membuat



aturan pohon keputusan perlu menyiapkan data pelatihan. Algoritma ini menggunakan perhitungan entropi untuk menentukan atribut terbaik dari data pelatihan yang disiapkan. Pemilihan atribut selanjutnya akan menggunakan nilai gain. Atribut dengan nilai gain tertinggi akan digunakan sebagai atribut untuk node tersebut. Rumus untuk menghitung entropi dan keuntungan adalah sebagai berikut:

$$Entropy(S) = \sum_{i=1}^n -p_i \times \log_2 p_i \tag{3}$$

$$Gain(S) = Entropy(S) - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} \times info(S_i) \tag{4}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem remote sensor kualitas udara yang diusulkan dalam penelitian ini dapat mengatasi permasalahan terkait paparan polusi udara yang berlebihan yang saat ini terjadi. Alat ini dibuat agar pengguna yang mengakses website Peringatan Dini Kualitas Udara dapat menerima pesan atau peringatan jika terjadi kelebihan kadar polutan yang berdampak pada kesehatan. Setelah alat divalidasi dan mendapatkan nilai yang tepat, maka pembacaan data akan ditampilkan di website dari waktu ke waktu. Prototipe dipasang di konfigurasi dalam ruangan setelah koneksi perangkat keras yang diperlukan dibuat dan aplikasi Arduino IDE untuk itu. Tingkat setiap polutan akan ditampilkan dari waktu ke waktu pada grafik serial hingga koneksi waktu habis.

Terlihat bahwa kadar pembacaan NO₂ dan CO yang juga ditampilkan di website (Gambar 4 dan Gambar 5). Pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 yang memiliki spesifikasi yang memadai. Modul Dev ESP32 dipilih karena merupakan chip Wi-Fi murah dengan banyak saluran analog yang memungkinkan pengumpulan informasi beberapa sensor secara bersamaan. Seberapa berhasil protokol komunikasi Wi-Fi telah digunakan untuk membuat komunikasi akan menentukan seberapa baik kinerja prototipe ini. Performa alat ditentukan oleh kecepatan transfer data, yang bergantung pada wilayah jangkauan penyedia layanan Wi-Fi. Pada (Gambar 4 dan Gambar 5) berikut merupakan pengambilan data pembacaan CO dan NO₂ di Laboratorium Mekatronika Politeknik Negeri Malang pada beberapa waktu dengan rerata ISPU sedang. Pada proses pengamatan respon sensor MQ-7 terhadap kadar Karbon Monoksida (CO) selama 1 hari diperoleh rata-rata sebesar sebesar 50,05 ug/m³ sedangkan, pada sensor MQ-135 terhadap kadar Nitrogen Dioksida (NO₂) diperoleh rata-rata sebesar 45, 15 ug/m³.

Data Remote Sensor Kualitas Udara							
ID	Sensor 1 (Deteksi CO)	Sensor 2 (Deteksi NO2)	Lokasi	Karbon Monoksida (CO)	Nitrogen Dioksida (NO2)	Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	Waktu
101	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	68.32	SEDANG	2023-05-31 13:11:29
100	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	66.58	SEDANG	2023-05-31 13:10:50
99	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	64.94	SEDANG	2023-05-31 13:10:11
98	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	70.14	SEDANG	2023-05-31 13:09:32
97	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	68.32	SEDANG	2023-05-31 13:08:53
96	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:08:14
95	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	70.14	SEDANG	2023-05-31 13:07:35
94	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	66.58	SEDANG	2023-05-31 13:06:57
93	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:06:18
92	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:05:39
91	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:05:00
90	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:04:22
89	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:03:43
88	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:03:05
87	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:02:25
86	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:01:47
85	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	74.09	SEDANG	2023-05-31 13:01:08
84	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	70.14	SEDANG	2023-05-31 13:00:29

Gambar 4. Data MQ7 Dikirim ke Dashboard website



Data Remote Sensor Kualitas Udara							
ID	Sensor 1 (Deteksi CO)	Sensor 2 (Deteksi NO2)	Lokasi	Karbon Monoksida (CO)	Nitrogen Dioksida (NO2)	Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	Waktu
101	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	68.32	SEDANG	2023-05-31 13:11:29
100	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	66.58	SEDANG	2023-05-31 13:10:50
99	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	64.94	SEDANG	2023-05-31 13:10:11
98	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	70.14	SEDANG	2023-05-31 13:09:32
97	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	68.32	SEDANG	2023-05-31 13:08:53
96	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:08:14
95	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	70.14	SEDANG	2023-05-31 13:07:35
94	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	66.58	SEDANG	2023-05-31 13:06:57
93	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:06:18
92	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:05:39
91	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:05:00
90	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:04:22
89	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	72.06	SEDANG	2023-05-31 13:03:43
88	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.05	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:03:05
87	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:02:25
86	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	76.24	SEDANG	2023-05-31 13:01:47
85	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	74.09	SEDANG	2023-05-31 13:01:08
84	MQ7	MQ135	Lab. Mekatronika	0.06	70.14	SEDANG	2023-05-31 13:00:29

Gambar 5. Data MQ-135 Dikirim ke Dashboard website



Gambar 6. Perangkat Remote Sensor

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan alur perancangan dapat diambil inti bahwa sistem berjalan dengan baik sehingga dengan desain perancangan remote sensor untuk kualitas udara (khususnya CO dan NO2) yang ditempatkan di Laboratorium Mekatronika Politeknik Negeri Malang dapat berfungsi sesuai dengan perencanaan menggunakan ESP32 Devkit Do it. Proses pengamatan respon sensor MQ-7 terhadap kadar Karbon Monoksida (CO) selama 1 hari diperoleh rata-rata sebesar sebesar 50,05 ug/m³. Pada sensor MQ-135 terhadap kadar Nitrogen Dioksida (NO2) diperoleh rata-rata sebesar 45, 15 ug/m³. Proses penyimpanan data menggunakan server database MySQL secara real time dengan sampling pengiriman ke database setiap 30 detik dan tertampil pada website dengan jeda pengiriman selama 5 detik serta data pada website dapat diunduh dalam format CSV.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Pusat Badan Statistik, "Laju Pertumbuhan Penduduk (Persen), 2020-2022," 2022. <https://www.bps.go.id/indicator/12/1976/1/laju-pertumbuhan-penduduk.html> (diakses 14 Desember 2022).



- [2] Pemerintah Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta: Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1999 Nomor 86, 1999.
- [3] H. D. Situmorang, "Kualitas Udara di Indonesia Terus Memburuk," Jakarta, 5 Juni 2021. Diakses: 13 Mei 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.beritasatu.com/nasional/783001/kualitas-udara-di-indonesia-terus-memburuk>
- [4] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), "Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) - Kualitas Udara," September 2022. <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-no2.bmkg> (diakses 23 Oktober 2022).
- [5] Z. Liu, G. Wang, L. Zhao, dan G. Yang, "Multi-Points Indoor Air Quality Monitoring Based on Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 9, hlm. 70479–70492, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073681.
- [6] P. Spachos dan D. Hatzinakos, "Real-Time Indoor Carbon Dioxide Monitoring Through Cognitive Wireless Sensor Networks," *IEEE Sens J*, vol. 16, no. 2, hlm. 506–514, 2016, doi: 10.1109/JSEN.2015.2479647.
- [7] P. Asthana dan S. Mishra, "IoT Enabled Real Time Bolt based Indoor Air Quality Monitoring System," dalam *2018 International Conference on Computational and Characterization Techniques in Engineering & Sciences (CCTES)*, 2018, hlm. 36–39. doi: 10.1109/CCTES.2018.8674076.
- [8] A. Chattopadhyay *dkk.*, "Low-Cost Formaldehyde Sensor Evaluation and Calibration in a Controlled Environment," *IEEE Sens J*, vol. 22, no. 12, hlm. 11791–11802, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3172864.
- [9] B. Tian, K. M. Hou, X. Diao, H. Shi, H. Zhou, dan W. Wang, "Environment-Adaptive Calibration System for Outdoor Low-Cost Electrochemical Gas Sensors," *IEEE Access*, vol. 7, hlm. 62592–62605, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2916826.
- [10] R. Rumantri, M. Y. N. Khakim, dan I. Iskandar, "Design and Characterization of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring System," *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, vol. 7, hlm. 347–354, Sep 2018, doi: 10.15294/jpii.v7i3.14444.
- [11] A. Maier, A. Sharp, dan Y. Vagapov, "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," dalam *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2017, hlm. 143–148. doi: 10.1109/ITECHA.2017.8101926.
- [12] "Technical Data MQ-7 Gas Sensor," *Hanwei Electronics CO., LTD*. Diakses: 14 Desember 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/694312/Hanwei/MQ7/1>
- [13] "Technical Data MQ-135 Gas Sensor," *Hanwei Electronics CO., LTD*. Diakses: 14 Desember 2022. [Daring]. Tersedia pada: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf

