

SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA SECARA REAL-TIME MENGGUNAKAN ESP32 DAN TEKNOLOGI IOT

Rahmi Hidayati¹, Kartika Sari², Yasman Halawa³, Athif Tafrihan A.⁴, M. Abdurrahman Harits⁵

1,2,3,4,5) Jurusan Sistem Komputer, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Indonesia

Article Info

Article history:

Received: 02 Juli 2024

Revised: 15 Juli 2024

Accepted: 18 Juli 2024

ABSTRACT

Abstrak

Kualitas udara merupakan tingkat kebersihan atau polusi udara di suatu area tertentu. Udara yang berkualitas rendah dapat membawa efek buruk bagi kesehatan manusia dan lingkungan, salah satunya adalah kabut asap akibat pembakaran hutan. Untuk mengatasi masalah ini, teknologi Internet of Things (IoT) dapat digunakan dengan membangun sistem pemantauan kualitas udara. Penelitian ini bertujuan memberikan informasi kualitas udara kepada pengguna melalui sebuah website yang menampilkan data secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk membantu masyarakat mengetahui kualitas udara di sekitar tempat tinggal. Metode penelitian yang digunakan adalah model *waterfall* yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Data yang digunakan adalah data kualitas udara di kota Pontianak, yang terdiri dari suhu, kelembaban, CO, CO₂, O₂, dan debu. Hasil pengujian selama 18 hari menunjukkan nilai normal untuk suhu, kelembaban, dan CO₂, sementara sensor debu dan CO₂ menunjukkan peningkatan nilai dengan tingkatan kategori yang berbeda. Nilai terendah sensor debu adalah 21 µg/m³ dan nilai tertingginya adalah 497 µg/m³. Untuk nilai CO₂ berkisar dari 433 ppm hingga 5441 ppm.

Kata Kunci: ESP32, IoT, Kualitas, Udara, Pemantauan.

Abstract

Air quality is the level of cleanliness or air pollution in a certain area. Poor air quality hurts human health and the environment. One of the negative impacts of air quality is caused by forest burning, which causes haze. To overcome this problem, we can use Internet of Things (IoT) technology by building an air quality monitoring system. This research aims to provide air quality information to users by accessing a website that will display real-time data. This system can be utilized by the community to find out the air quality around their residence. The research method uses a waterfall model, which includes requirements analysis, system design, implementation, and testing. The data used is air quality data in Pontianak City, including temperature, humidity, CO, CO₂, O₂ and dust. The test results for 18 days showed normal values for temperature, humidity, and CO₂, while the dust and CO₂ sensors showed an increase in value with different category levels, with the lowest value of the dust sensor being 21 µg/m³ and the highest value being 497 µg/m³, while the CO₂ value ranged from 433 ppm to 5441 ppm.

Keywords: ESP32, IoT, Quality, Air, Monitoring.

Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi oleh Universitas Dharmawangsa Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan dengan Lisensi Internasional Creative Commons Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 ([CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)).



Corresponding Author:

E-mail: rahmihidayati@siskom.untan.ac.id

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting bagi kesehatan umum organisme hidup adalah lingkungan yang memiliki suasana yang nyaman, di mana kebersihan memegang peranan penting dalam mendukung kesejahteraan fisik. Udara adalah elemen krusial dalam kehidupan sehari-hari, berfungsi sebagai kebutuhan dasar yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Miranto & Reynaldi, 2023). Kualitas udara merujuk pada tingkat kebersihan atau polusi di suatu wilayah tertentu, yang diukur melalui berbagai parameter seperti konsentrasi polutan termasuk debu dan bahan kimia. Kualitas udara yang tidak baik dapat menimbulkan bahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan, seperti penyakit pernapasan, iritasi mata, dan berbagai masalah kesehatan lainnya. Polusi yang berasal dari aktivitas manusia maupun sumber alami menghasilkan polutan dan produk sampingan seperti logam berat. Bahan organik, seperti partikel debu, dapat menyebabkan kondisi seperti *pneumoconiosis*. Banyak orang tidak menyadari bahwa penurunan kualitas udara baik di dalam maupun di luar ruangan dapat disebabkan oleh aktivitas sehari-hari (Purbakawaca & Fauzan, 2022). Pembakaran lahan secara besar-besaran merupakan faktor utama yang menyebabkan penurunan kualitas udara, menghasilkan polusi udara yang merugikan. Saat ini, masalah pencemaran udara masih berlangsung tanpa solusi yang jelas. Oleh karena itu, pendekatan yang efektif untuk mengatasi masalah ini melibatkan penilaian kualitas udara untuk mengklasifikasikan kondisinya (Rumampuk et al., 2021).

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan sistem untuk memantau kualitas udara menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). IoT adalah kumpulan perangkat keras yang dapat bertukar informasi antara sumber informasi, operator layanan, atau perangkat lain yang terhubung dalam sistem. IoT merupakan kemajuan terbaru dalam revolusi komunikasi dan komputasi, mengacu pada interkoneksi perangkat cerdas yang mencakup berbagai macam peralatan, sensor, dan perangkat lainnya. Sistem ini

digunakan untuk mengukur dan mengawasi kondisi polutan udara dalam suatu area tertentu. Informasi yang dihasilkan oleh sistem ini membantu dalam mengidentifikasi dan mengukur polutan individu serta menilai keseluruhan kualitas udara. Penelitian ini menggunakan parameter seperti suhu dan kelembaban, CO₂, O₂, CO, dan tingkat gas debu untuk memantau kualitas udara. Data sensor diperoleh dari kondisi kualitas udara di kota Pontianak. Nilai setiap parameter diekstraksi dan disimpan dalam basis data, kemudian disajikan pada sebuah website dalam bentuk tabel dan grafik untuk setiap parameter. Informasi mengenai kualitas udara yang tersimpan dalam database dapat dimanfaatkan untuk meramalkan kondisi udara di masa depan.

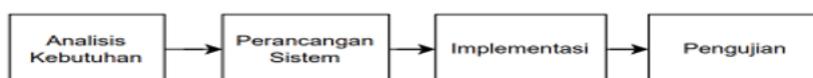
Ada beberapa penelitian yang berfokus pada pemantauan kualitas udara di dalam dan di luar ruangan. Salah satu penelitian terkait adalah tentang pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis Android (Baja; & Ani, 2020), dan berbasis IoT oleh (Octaviano et al., 2022), dan (Hakim & Susanto, 2020). Penelitian lainnya adalah sistem pemantauan dan dukungan keputusan untuk kualitas udara di kota Semarang dengan IoT (Mashuri & Zulfa, 2022), sistem deteksi kualitas udara dengan Wemos ESP32 (Satryawan & Susanti, 2023), dan pemantauan kualitas udara dengan Raspberry Pi dan Wemos D1 (Tahir et al., 2020). Penelitian tentang sistem pemantauan kualitas udara dengan mikrokontroler ESP32 dan sensor MQ-2 (Putro et al., 2023). Sistem untuk memantau kualitas udara di lingkungan hunian (Rachman et al., 2021), dan di daerah industri (Harpad et al., 2022) dengan NodeMCU, dan sistem kontrol otomatis dan kontrol dengan fuzzy berbasis NodeMCU (Prasetyo et al., 2022).

Penelitian terkait lainnya yaitu sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan yang murah dengan IoT (Purbakawaca & Fauzan, 2022), sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT (Rumampuk et al., 2021), pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT (Hanum & Elfizon, 2023), sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan (C; et al., 2021), dan sistem pemantauan kualitas udara menggunakan Media-Q (Rifai et al., 2022). Penelitian sebelumnya hanya dapat memantau kualitas udara di dalam ruangan atau di luar ruangan, tetapi dalam penelitian ini, pemantauan kualitas udara dapat dilakukan untuk berbagai kondisi ruangan dan selama kabut asap

akibat kebakaran hutan. Sistem ini beberapa data sensor untuk mengukur kualitas udara. Data dari setiap sensor disimpan dalam basis data dan pengguna dapat mengakses informasi kualitas udara secara *real-time* melalui *website*. Keberadaan sistem ini diharapkan mampu memberikan kemudahan bagi pengguna untuk lebih siap dalam mengantisipasi kondisi kualitas udara di sekitar tempat tinggal.

2. METODE PENELITIAN

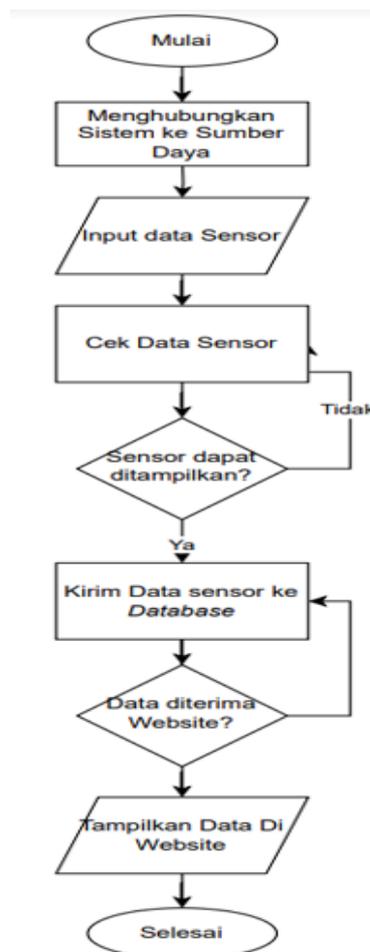
Metode penelitian ini menggunakan model *waterfall* yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan kualitatif, dengan mengambil data dari setiap sensor, kemudian menyimpan data dalam basis data dan menampilkannya dalam bentuk aplikasi berbasis *website* kepada pengguna. Gambar 1 merupakan tahapan penelitian.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pada tahapan analisis kebutuhan, fokus utama adalah mengumpulkan informasi kebutuhan sistem, khususnya dalam mengidentifikasi perangkat yang diperlukan dalam perancangan dan melakukan implementasi sistem pemantauan kualitas udara. Data untuk sistem ini diambil dari kondisi kualitas udara yang ada di kota Pontianak. Pada sistem ini digunakan komponen perangkat keras sebagai berikut: ESP32, DHT22, LCD 16x2, beberapa sensor yaitu: MG-811, MQ-135, MQ-7, dan GP2Y1010AU0F. Untuk perangkat lunak, yang digunakan terdiri dari: PHP, laravel, Arduino IDE untuk menulis kode program dalam bahasa C (mambang, 2021) dan Visual Studio Code. Tahapan perancangan sistem, mencakup perancangan komponen perangkat keras yang mencakup penjelasan mengenai elemen-elemen elektronik yang digunakan, seperti ESP32 dan berbagai sensor. Sensor-sensor ini memiliki kemampuan untuk mengenali perubahan dalam lingkungan fisik atau kimia dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang disebut transformator (Rusito, 2021), dan perancangan perangkat lunak untuk

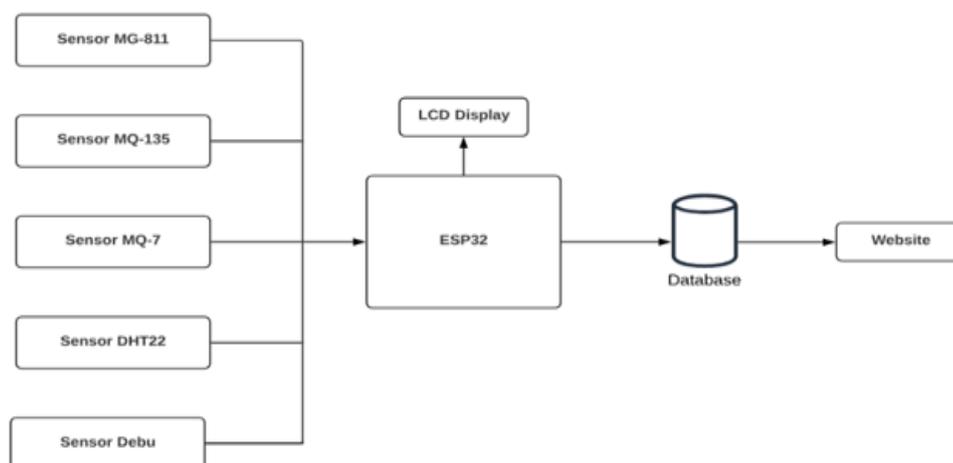
membangun sistem. Secara ringkas, perancangan sistem adalah tahap di mana perencanaan komprehensif untuk aspek perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada sistem. Pada tahap implementasi sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak diwujudkan dalam bentuk nyata dengan merangkai semua komponen perangkat keras dan menghubungkannya ke perangkat lunak. Selanjutnya, aplikasi dapat menampilkan data dalam bentuk antarmuka berbasis *website* sehingga mudah dipahami oleh pengguna. Tahap pengujian sistem bertujuan untuk menguji hasil sistem, menentukan keterkaitan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Setelah sistem selesai dibangun, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan sesuai dengan harapan. Gambar 2 merupakan diagram alir sistem pemantauan kualitas udara.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Pemantauan

Diagram alur sistem pemantauan kualitas udara dimulai dengan menghubungkan sistem ke sumber daya listrik. Selanjutnya, *input* data sensor, kemudian memeriksa data sensor tersebut. Jika data sensor muncul di monitor serial, data akan dikirimkan ke basis data. Jika data sensor tidak muncul di monitor serial, dilakukan pemeriksaan kembali data sensor tersebut. Tahapan berikutnya yaitu melakukan pengecekan apakah data diterima oleh *website*. Jika data diterima oleh *website*, maka data akan ditampilkan pada halaman *website*. Jika data tidak diterima oleh *website*, kembali ke proses pengiriman data ke basis data.

Diagram blok sistem merupakan representasi keseluruhan dari desain sistem. Dalam sistem ini, beberapa sensor terhubung ke ESP32 untuk mengumpulkan data kualitas udara. Hasilnya akan ditampilkan pada layar LCD. Data kualitas udara disimpan dalam basis data dan dapat diakses melalui *website*. Gambar 3 merupakan diagram blok sistem.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

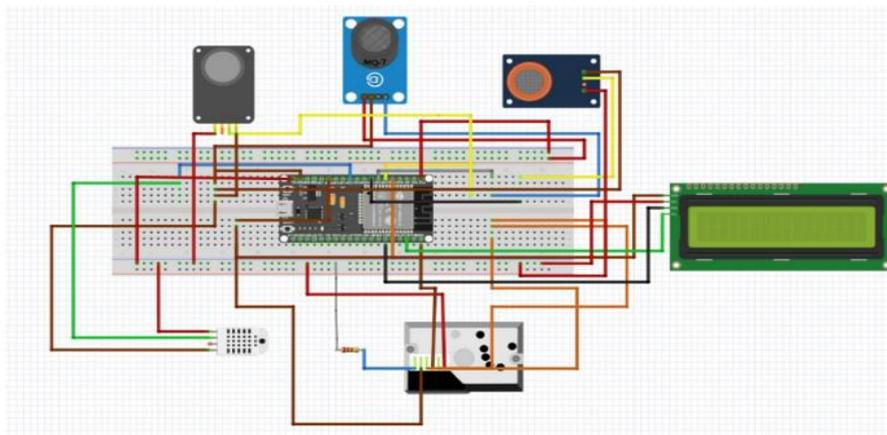
A. Analisis Kebutuhan

Bagian analisis kebutuhan menjelaskan mengenai komponen yang diperlukan untuk membangun sistem dalam penelitian ini serta data yang digunakan. Data yang

dianalisis berasal dari pengukuran kualitas udara di kota Pontianak, meliputi suhu dan kelembaban, O₂, konsentrasi CO, CO₂, dan data debu. Hasil data dari setiap sensor ditampilkan menggunakan LCD dan halaman *website*.

B. Perancangan Sistem

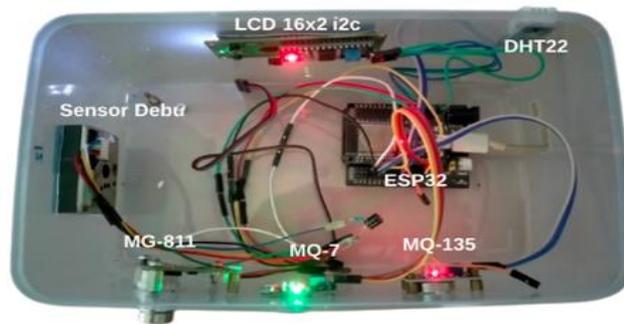
Sistem ini dirancang untuk menghubungkan berbagai alat dan komponen menjadi satu kesatuan yang terintegrasi dan berfungsi dengan efektif. Rancangan tersebut mencakup perangkat keras dan koneksi keseluruhan dari sistem pemantau kualitas udara. Sistem ini menggunakan sensor MG-811 untuk mendeteksi gas Karbon Dioksida (CO₂), MQ-135 untuk Oksigen (O₂), MQ-7 untuk Karbon Monoksida (CO), DHT22 untuk suhu dan kelembaban, dan GP2Y1010AU0F untuk debu, yang semuanya terintegrasi menjadi satu sistem. Gambar 4 merupakan tampilan dari perancangan keseluruhan perangkat keras sistem.



Gambar 4. Perancangan Keseluruhan Perangkat Keras Sistem

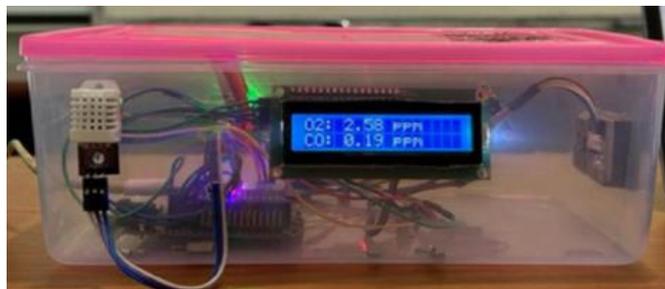
C. Implementasi Alat dan Sistem

Hasil dari rangkaian setiap sensor dan komponen yang digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara dengan ESP32 dihubungkan menjadi satu unit sehingga dapat menampilkan informasi dari setiap sensor yang digunakan. Gambar 5 merupakan tampilan alat dari sistem pemantauan kualitas udara.



Gambar 5. Tampilan alat dari sistem pemantauan kualitas udara

LCD menampilkan hasil dari lima sensor yang digunakan, yaitu DHT22, MG-811, MQ-7, MQ-135, dan sensor debu secara bergantian. Gambar 6 merupakan tampilan LCD dari sistem pemantauan kualitas udara.



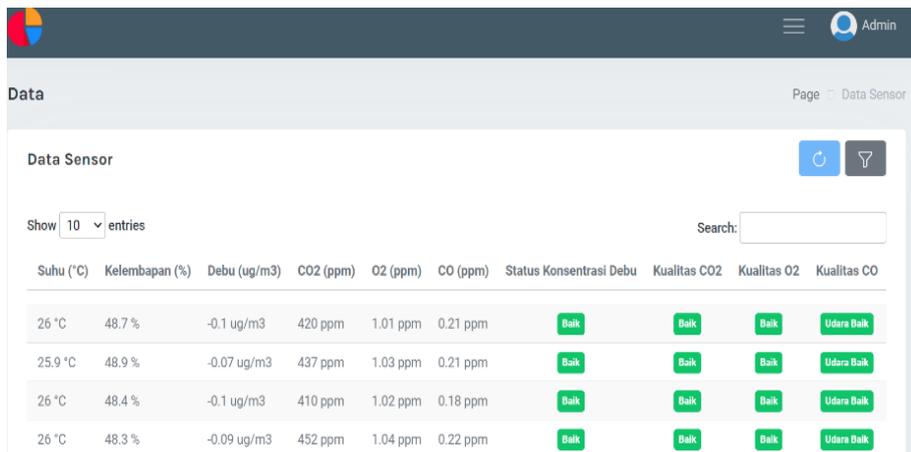
Gambar 6. Tampilan LCD dari sistem pemantauan kualitas udara

Antarmuka *website* untuk sistem ini memiliki bagian khusus untuk administrator dan pengguna. Untuk masuk ke halaman admin dan pengguna, terlebih dahulu masuk ke halaman *login* dengan memasukkan *username* dan *password* kemudian akan diarahkan ke halaman *dashboard* admin atau pengguna. Gambar 7 merupakan tampilan halaman *dashboard* admin.



Gambar 7. Tampilan halaman dashboard admin

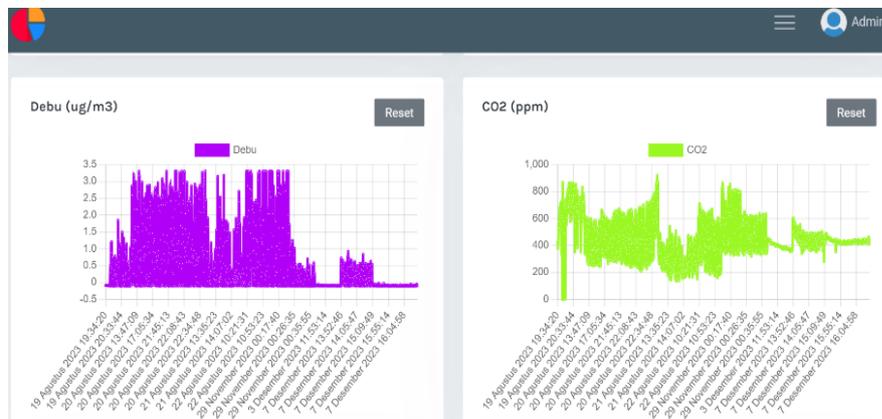
Pada menu *dashboard*, admin maupun pengguna dapat memilih pilihan menu seperti menu grafik, data sensor, data master, kelola akun, dan kontrol sistem. Pengguna hanya memiliki akses pada menu grafik dan data sensor. Dalam menu data sensor, admin dan pengguna dapat mengamati nilai dan status dari setiap sensor yang digunakan. Gambar 8 merupakan tampilan halaman data sensor.



Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Debu (ug/m3)	CO2 (ppm)	O2 (ppm)	CO (ppm)	Status Konsentrasi Debu	Kualitas CO2	Kualitas O2	Kualitas CO
26 °C	48.7 %	-0.1 ug/m3	420 ppm	1.01 ppm	0.21 ppm	Baik	Baik	Baik	Udara Baik
25.9 °C	48.9 %	-0.07 ug/m3	437 ppm	1.03 ppm	0.21 ppm	Baik	Baik	Baik	Udara Baik
26 °C	48.4 %	-0.1 ug/m3	410 ppm	1.02 ppm	0.18 ppm	Baik	Baik	Baik	Udara Baik
26 °C	48.3 %	-0.09 ug/m3	452 ppm	1.04 ppm	0.22 ppm	Baik	Baik	Baik	Udara Baik

Gambar 8. Tampilan halaman data sensor

Selain menampilkan data sensor pada *website*, terdapat juga tampilan grafik dari setiap sensor yang digunakan. Gambar 9 merupakan tampilan grafik untuk sensor debu dan CO2.

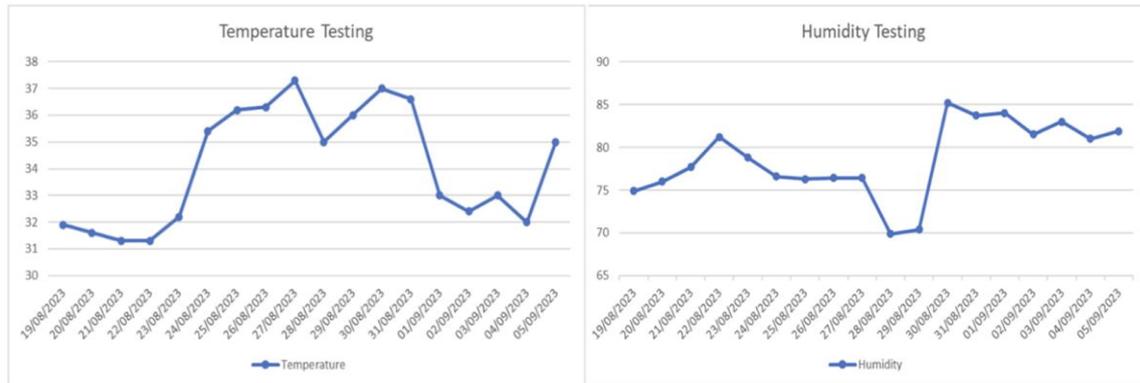


Gambar 9. Tampilan grafik untuk sensor debu dan CO2

D. Pengujian Sistem

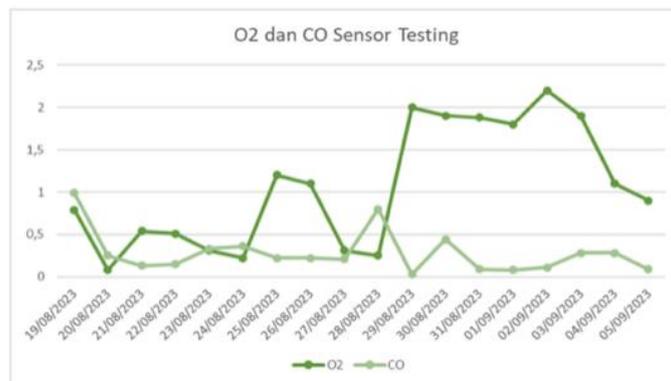
Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi fungsionalitas keseluruhan sistem, dengan mengumpulkan data kualitas udara selama 18 hari. Sensor DHT-22

digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban di udara. Selama pengujian, sensor DHT22 mendapatkan hasil suhu terendah pada nilai 31,3 °C dan hasil suhu tertinggi pada nilai 37,3 °C serta untuk kelembaban, nilai yang tercatat berkisar dari 69,9% hingga 85,2%. Gambar 10 merupakan tampilan grafik pengujian suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22.



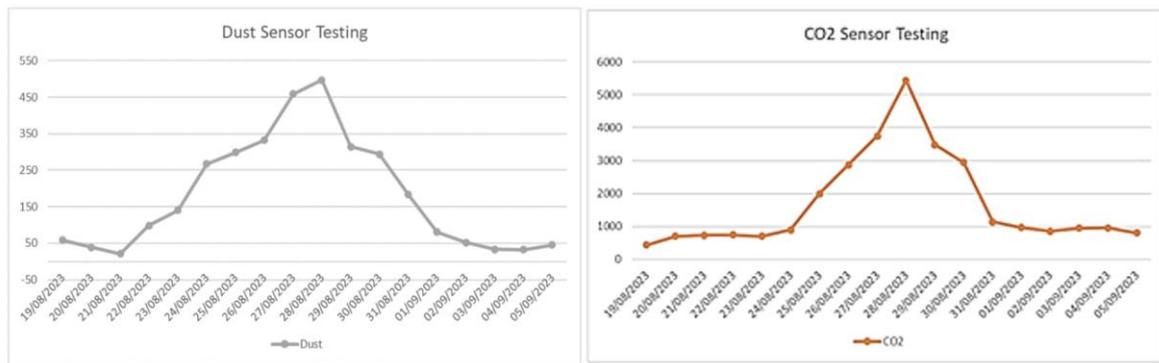
Gambar 10. Grafik pengujian suhu dan kelembaban

Pengujian nilai O₂ dengan sensor MQ-135 mendapatkan nilai O₂ terendah pada nilai 0,08 ppm dan nilai O₂ tertinggi pada nilai 2,2 ppm. Dan untuk pengujian CO dengan sensor MQ-7, nilai terendah adalah 0,03 ppm dan nilai tertingginya adalah 0,99 ppm. Gambar 11 merupakan Tampilan grafik pengujian O₂ dan CO.



Gambar 11. Grafik pengujian O₂ dan CO

Pengujian nilai sensor debu memperoleh nilai terendah sebesar 21 µg/m³ dan nilai tertinggi sebesar 497 µg/m³. Sedangkan Pengujian nilai gas CO₂ dengan sensor MG-811 memperoleh nilai terendah sebesar 443 ppm dan nilai tertinggi sebesar 5441 ppm. Gambar 12 merupakan tampilan grafik untuk pengujian sensor debu.



Gambar 12. Grafik pengujian sensor debu dan CO2

Hasil pengujian dari seluruh sensor yang dilakukan selama 18 hari. Tabel 1 merupakan hasil pengujian sensor secara rinci.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor

No	Waktu	CO ₂ (ppm)	Humidity (%)	Temp. (°C)	Dust (µg/m ₃)	O ₂ (ppm)	CO (ppm)
1.	19/08/2023	433	74,9	31,9	59	0,79	0,99
2.	20/08/2023	707	76	31,6	39	0,08	0,25
3.	21/08/2023	730	77,7	31,3	21	0,54	0,13
4.	22/08/2023	741	81,2	31,3	99	0,51	0,15
5.	23/08/2023	702	78,8	32,2	141	0,31	0,33
6.	24/08/2023	893	76,6	35,4	267	0,22	0,36
7.	25/08/2023	1999	76,3	36,2	299	1,2	0,22
8.	26/08/2023	2868	76,4	36,3	332	1,1	0,22
9.	27/08/2023	3751	76,4	37,3	459	0,31	0,21
10.	28/08/2023	5441	69,9	35	497	0,25	0,8
11.	29/08/2023	3488	70,4	36	315	2	0,03
12.	30/08/2023	2945	85,2	37	294	1,9	0,44
13.	31/08/2023	1141	83,7	36,6	183	1,88	0,09
14.	01/09/2023	963	84	33	81	1,8	0,08
15.	02/09/2023	860	81,5	32,4	52	2,2	0,11
16.	03/09/2023	951	83	33	34	1,9	0,28
17.	04/09/2023	957	81	32	33	1,1	0,28
18.	05/09/2023	801	81,9	35	46	0,9	0,09
	MIN	433	69,9	31,3	21	0,08	0,03
	MAX	5441	85,2	37,3	497	2,2	0,99
	AVERAGE	1687,28	78,61	34,08	180,61	1,06	0,28

Dari hasil pengujian seluruh sensor, dapat terlihat bahwa terjadi peningkatan pada data sensor MG-811 untuk gas karbon dioksida (CO₂), data sensor suhu, dan debu pada pengujian ke-5 hingga pengujian ke-10. Kemudian pada pengujian ke-11 hingga pengujian ke-18, terjadi penurunan nilai. Data sensor dapat dianalisis menggunakan kategori referensi status CO di udara. Pemisahan kategori status karbon dioksida di udara dapat dilihat pada Tabel 2(Pratama & Setiawan, 2017).

Tabel 2. Kategori Status Konsentrasi Karbon Dioksida di Udara

Rating	Index	CO ₂
Sangat Baik	1	0 -400
Baik	2	400-1000
Medium	3	1000-1500
Tidak Sehat	4	1500-2000
Sangat Tidak Sehat	5	2000-5000
Bahaya	6	> 5000

Berdasarkan Tabel 2, klasifikasi tingkat karbon dioksida menunjukkan bahwa pengujian ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, dan 18 berada dalam kategori baik. Pengujian ke-13 masuk dalam kategori sedang, sementara pengujian ke-7 masuk dalam kategori tidak sehat. Untuk pengujian ke-8, 9, 11, dan 12 diklasifikasikan sebagai sangat tidak sehat dan pengujian ke-10 masuk dalam kategori bahaya. Mengenai hasil pengujian sensor debu, analisis dilakukan berdasarkan kategori status konsentrasi debu PM10 di udara, sebagaimana diuraikan dalam Tabel 3(Agustine et al., 2018).

Tabel 3. Kategori Status Konsentrasi Debu PM10 di Udara

Hasil pengukuran sensor (µg/m ³)	Kategori
0 - 50	Baik
51 - 150	Medium
151 - 350	Tidak Sehat
351 - 420	Sangat Tidak Sehat
>420	Berbahaya

Berdasarkan Tabel 3 mengenai kategori status debu di udara, hasil pengujian 2, 3, 15, 16, dan 17 berada dalam kategori baik. Untuk pengujian 1, 4, 5, dan 14 masuk ke dalam kategori sedang. Pengujian 6, 7, 8, 11, 12, dan 13 masuk ke dalam kategori tidak sehat. Serta pengujian 9 dan 10 termasuk ke dalam kategori berbahaya.

4. SIMPULAN

Sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan ESP32 ini mengintegrasikan lima sensor untuk mendapatkan data dari setiap sensor. Sensor yang digunakan adalah DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Sensor MG-811 untuk mengukur tingkat CO₂. Sensor MQ-135 untuk menilai kadar O₂. Sensor MQ-7 untuk mendeteksi CO dan sensor GP2Y1010AU0F untuk identifikasi debu. Data sensor tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik di halaman *website*, sehingga memudahkan pengguna untuk mengakses informasi kualitas udara. Berdasarkan acuan nilai ISPU dan hasil pengujian sensor yang dilakukan selama 18 hari, memperoleh hasil untuk suhu, kelembaban, O₂, dan CO tetap dalam batas normal. Namun, sensor debu dan CO₂ menunjukkan peningkatan nilai. Untuk sensor debu, nilai berkisar dari 21 µg/m³ masuk dalam kategori baik hingga 497 µg/m³ masuk dalam kategori berbahaya. Pembacaan sensor CO₂ mendapatkan nilai yang bervariasi yaitu nilai terendah sebesar 433 ppm dalam kategori baik hingga nilai tertinggi sebesar 5441 ppm dalam kategori berbahaya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada FMIPA UNTAN atas dana penelitian DIPA yang telah diberikan (Nomor: SP-DIPA-023.17.2.677517/2023 tanggal 30 November 2022) dan pihak terkait lainnya yang membantu dalam penelitian ini.

PUSTAKA

- Agustine, I., Yulinawati, H., Gunawan, D., & Suswanto, E. (2018). Potential impact of particulate matter less than 10 micron (PM10) to ambient air quality of Jakarta and Palembang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 106(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012057>
- Baja, P. R., & Ani, A. S. (2020). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA BERBASIS ANDROID. *Comasie*, 6(2), 107–118.
- C., U. G., Poekoel, V. C., & Ontowirjo, A. H. J. (2021). Indoor Air Quality Monitoring Systems. *International Journal of Knowledge-Based Organizations*, 11(3), 1–14. <https://doi.org/10.4018/ijkbo.2021070101>
- Hakim, T. N., & Susanto, M. F. (2020). Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Internet of Things. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 1, 26–27.
- Hanum, L., & Elfizon. (2023). Rancang Bangun Pemantau Kualitas Udara dalam Ruang Berbasis Internet of Things. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), 619–624.

- Harpad, B., Salmon, S., & Saputra, R. M. (2022). Sistem Monitoring Kualitas Udara Di Kawasan Industri Dengan Nodemcu Esp32 Berbasis Iot. *Jurnal Informatika Wicida*, 12(2), 39–47. <https://doi.org/10.46984/inf-wcd.1955>
- mambang. (2021). *BUKU AJAR TEKNOLOGI KOMUNIKASI INTERNET (Internet of Things)* (Issue April). <https://www.researchgate.net/publication/360289401>
- Mashuri, A. A., & Zulfa, N. (2022). Sistem Monitoring dan Pendukung Keputusan Kualitas Udara di Kota Semarang Menggunakan Iot. *Jurnal Informatika Upgris*, 8(1), 1–5. <https://doi.org/10.26877/jiu.v8i1.7532>
- Miranto, A., & Reynaldi, E. (2023). Perancangan Dan Implementasi Antarmuka Pengguna Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Aplikasi Android. *Cyberspace: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 7(1), 46. <https://doi.org/10.22373/cj.v7i1.17491>
- Octaviano, A., Sofiana, S., Agustino, D. O., & Rosyani, P. (2022). KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things. *Media Online*, 3(2), 147–156. <https://djournals.com/klik>
- Prasetyo, S. D., Setiawan, D., & Syahputra, R. (2022). Sistem Kendali Otomatis Monitoring Dan Controlling Menggunakan Metode Fuzzy Berbasis NodeMCU. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 1(4), 126. <https://doi.org/10.53513/jursik.v1i4.5567>
- Pratama, K., & Setiawan, E. B. (2017). *Implementasi Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Peramalan Exponential Smoothing dan NodeMCU Berbasis Mobile Android*. IX(2).
- Purbakawaca, R., & Fauzan, S. A. (2022). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruang Berbiaya Rendah Berbasis Iot. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(1), 118. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v5i1.104>
- Putro, A. P., Hidayat, D. A., Heratama, F. F., Cahyo, A. D., Yulian, D. E., & Prabowo, Y. A. (2023). Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Mikrokontroller ESP32 Dengan Sensor MQ2 Berbasis Internet of Things. ... *Teknik Elektro, Sistem ...*, 217–224. <http://ejurnal.itats.ac.id/snestik/article/view/4214%0Ahttp://ejurnal.itats.ac.id/snestik/article/download/4214/3092>
- Rachman, T., Purnomo, I. I., & Ridho, I. I. (2021). Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Lingkungan Perumahan Berbasis Iot Dengan Nodemcu. *Jurnal Teknologi*, 06(03), 1–10.
- Rifai, M. F., Jatnika, H., Purwanto, Y. S., & Pratama, A. B. (2022). Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruang: Measuring Device For Indoor Air Quality (Media-Q). *Petir*, 15(2), 295–303. <https://doi.org/10.33322/petir.v15i2.1472>
- Rumampuk, G. C., Poekoel, V. C., & Rumagit, A. M. (2021). Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design. *Jurnal Teknik Informatika*, 7(1), 11–18.
- Rusito. (2021). Teknologi Internet, Dasar Internet, Internet of Things (IOT) dan Bahasa HTML. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Satryawan, M. A., & Susanti, E. (2023). *IOT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32*. 6(2), 410–419.
- Tahir, F., Ridwan, W., & Nasibu, I. Z. (2020). Monitor Kualitas Udara Berbasis Web Menggunakan Raspberry Pi dan Modul Wemos D1. *Jurnal Teknik*, 18(1), 35–44. <https://doi.org/10.37031/jt.v18i1.57>