

Sistem Telemetry Cerdas untuk Monitoring Kadar Particulate Matter (PM10) Menggunakan Algoritma Rule-Based Berbasis Internet of Things

Septi Lailatis Salwa¹, Muhammad Shodiq^{2,*}, Eko Handoyo¹

¹Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan, Program Studi Teknik Komputer, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Lamongan, Indonesia

²Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan, Program Informatika Medis, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Lamongan, Indonesia

Email: ¹septisalwa123@gmail.com, ^{2,*}shodiqmuhammad13@gmail.com, ³ekokurro17@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: shodiqmuhammad13@gmail.com

Submitted: 06/08/2024; Accepted: 25/11/2024; Published: 26/11/2024

Abstrak—Pencemaran udara oleh Particulate Matter (PM10) merupakan masalah lingkungan yang mendesak dan berdampak besar pada kesehatan masyarakat. PM10 terdiri dari partikel dengan diameter kurang dari 10 μm yang dapat menembus saluran pernapasan, menyebabkan infeksi saluran pernapasan, penyakit jantung, dan gangguan paru-paru. Sumber utama pencemaran ini meliputi emisi kendaraan, aktivitas industri, dan pembakaran bahan organik, yang sering melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh badan kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem telemetry cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memonitor kadar PM10 secara real-time menggunakan sensor Algoritma Rule-Based. Algoritma ini mengadopsi teknik-teknik kecerdasan buatan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan serangkaian aturan yang telah ditetapkan. Proses ini melibatkan beberapa tahapan penting pengumpulan basis pengetahuan. IoT sebagai perangkat berbiaya rendah memungkinkan pengumpulan data yang luas, interaksi dengan perangkat IoT lainnya, serta pemanfaatan layanan dan penyimpanan berbasis cloud. Sistem ini diharapkan dapat menyediakan informasi yang akurat dan cepat mengenai tingkat pencemaran udara serta meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kualitas udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar PM10 yang terukur pada Tabel 1 mencapai 2,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan pada tabel 2 sebesar 1,768 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kedua nilai tersebut masuk dalam kategorikan berbahaya. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur notifikasi melalui Telegram, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kualitas udara secara efektif. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi pemantauan kualitas udara dan kesehatan lingkungan.

Kata Kunci: PM10; Monitoring; IoT; Rule Based

Abstract—Air pollution by Particulate Matter (PM10) is a pressing environmental issue that has a major impact on public health. PM10 consists of particles with a diameter of less than 10 μm that can penetrate the respiratory tract, causing respiratory infections, heart disease, and lung disorders. The main sources of this pollution include vehicle emissions, industrial activities, and organic matter burning, which often exceed the thresholds set by health agencies. This research aims to develop an *Internet of Things* (IoT)-based intelligent telemetry system to monitor PM10 levels in real-time using Rule-Based Algorithm sensors. This algorithm adopts artificial intelligence techniques to solve problems based on a set of predefined rules. This process involves several important stages of knowledge base collection. IoT as a low-cost device enables extensive data collection, interaction with other IoT devices, and utilization of cloud-based services and storage. This system is expected to provide accurate and fast information about the level of air pollution and increase public awareness about the importance of maintaining air quality. The results showed that the measured PM10 level in Table 1 reached 2.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while in Table 2 it was 1.768 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Both values are categorized as dangerous. The system is also equipped with a notification feature via Telegram, allowing users to monitor air quality conditions effectively. This research contributes to the development of air quality monitoring technology and environmental health.

Keywords: PM10; Monitoring; IoT; Rule Based

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang serius yang dapat berdampak pada kesehatan manusia. Pencemaran ini terjadi ketika kualitas udara terganggu dan terkontaminasi oleh berbagai zat, baik yang tidak berbahaya maupun yang berpotensi merugikan kesehatan. Situasi ini biasanya ditemukan di kota-kota besar dan kawasan industri padat yang menghasilkan gas-gas beracun seperti NO₂ (Nitrogen Dioksida), SO₂ (Sulfur Dioksida), O₃ (Ozon), dan CO (Karbon Monoksida) dalam jumlah yang melebihi batas yang diperbolehkan. *Particulate Matter* (PM10), merupakan jenis partikel dengan diameter <10 μm . Partikel ini terutama berasal dari proses mekanis, seperti debu yang tersuspensi dari permukaan jalan ke udara atau *bioaerosol* [1][2] merupakan salah satu komponen utama pencemaran udara yang dapat menembus saluran pernapasan dan menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk penyakit pernapasan, kardiovaskular, dan bahkan kematian pada bayi, anak-anak, dan orang lanjut usia [3][4]. Sumber utama PM10 meliputi emisi kendaraan, aktivitas industri, pembakaran bahan bakar fosil, dan debu dari konstruksi serta pertanian.

Di banyak kota besar dan daerah industri, konsentrasi PM10 sering kali melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh badan kesehatan, sehingga menimbulkan risiko serius bagi kesehatan masyarakat. Dalam konteks ini, monitoring kualitas udara menjadi sangat penting untuk mengidentifikasi dan mengendalikan pencemaran.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk pemantauan kualitas udara secara real-time, memungkinkan pengumpulan dan analisis data yang lebih cepat dan efisien. Algoritma Rule-Based berfungsi sebagai pendekatan yang sering digunakan dalam sistem pendukung keputusan, di mana basis pengetahuan memainkan peran kunci. Metode ini mengadopsi teknik-teknik kecerdasan buatan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan serangkaian aturan yang telah ditetapkan. Proses ini melibatkan beberapa tahapan penting yaitu Pengumpulan Basis Pengetahuan [5][6]. Penelitian sebelumnya membahas Analisis Risiko Kesehatan Paparan Debu Terhadap Fungsi Paru Pada Pekerja Di *Home Industry* C-MAX menemukan bahwa meskipun kadar debu di industri rumah tangga C-MAX aman, 10 dari 36 pekerja mengalami gangguan fungsi paru-paru. Paparan debu dan faktor lain seperti merokok dapat meningkatkan risiko masalah kesehatan pernapasan. Pengendalian debu dan K3 yang baik diperlukan untuk melindungi kesehatan pekerja [7].

Penelitian lain menerapkan *Internet of things* Pada Sistem *Monitoring* Kualitas Udara Menggunakan *Web Server*, Menghasilkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang mengukur CO, NO₂, dan PM 2.5. Hasilnya menunjukkan bahwa CO dan PM 2.5 aman, tetapi NO₂ berbahaya [8]. Selain itu penelitian sebelumnya membahas Sistem Pengukuran Data Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara dengan Telemetri Berbasis Frekuensi Radio, Menghasilkan sistem telemetri RF 433 MHz yang mengukur suhu, kelembaban, dan tekanan udara dengan error masing-masing 3.15%, 5.02%, dan 0.32%.

Sistem ini dapat mentransmisikan data hingga 97 meter tanpa halangan [9]. Penelitian lain membahas mengenai *Monitoring* Kualitas Udara Secara *Realtime* Dengan Peringatan Bahaya Kualitas Udara Tidak Sehat Menggunakan *Push Notification*. Menciptakan sistem berbasis IoT untuk memantau ketebalan debu dan suhu ruangan menggunakan sensor debu GP2Y1010AU0F dan sensor suhu DHT11 yang dikendalikan oleh Arduino UNO D1 R1. Data ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Telegram, memungkinkan pemantauan jarak jauh tanpa perlu pemeriksaan manual [10]. Penelitian lain menggunakan algoritma rule based untuk pemilihan klasifikasi buah jeruk secara otomatis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mampu meningkatkan akurasi sortasi dan memberikan prediksi pendapatan yang akurat sehingga dapat membantu mengatasi tantangan sektor pertanian [11]. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem telemetri cerdas yang dapat memonitor kadar PM₁₀ menggunakan Algoritma Rule based dan IoT. Sistem ini dirancang untuk memberikan informasi akurat tentang kualitas udara dan mengirimkan notifikasi kepada pengguna melalui aplikasi Telegram ketika kadar PM₁₀ mencapai level berbahaya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Sistem Telemetri

Sistem telemetri merupakan metode pengukuran jarak jauh yang menggunakan komputer dan alat telekomunikasi untuk mengakses dan mengolah data secara digital. Telemetri umumnya menggunakan gelombang radio karena tidak memerlukan kabel yang bisa rusak, memberikan respons cepat, dan mudah ditempatkan di lokasi yang sulit dijangkau [12][13]. Telemetri juga berperan penting dalam pemantauan kualitas udara, termasuk pengukuran Particulate Matter (PM₁₀).

2.2 Particulate Matter (PM₁₀)

PM₁₀ merupakan salah satu polutan udara berbahaya yang terdiri dari partikel seperti asap dan debu [14]. Rentan Konsentrasi Per Jam Partikulat beserta Efek yang terjadi bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rentan Konsentrasi PM₁₀

PM ₁₀ (µg/m ³)	KATEGORI	Efek yang terjadi
0-50	BAIK	Tidak ada efek
51-150	SEDANG	Jarak pandang menurun
151-350	TIDAK SEHAT	Udara tercemar
351-420	SANGAT TIDAK SEHAT	Sensitivitas pasien asma dan ISPA meningkat
>420	BERBAHAYA	Kematian

Pada Tabel 1 menjelaskan bahwa kadar PM₁₀ dengan rentan 0 – 50 (µg/m³) masuk dalam kategori baik dan tidak memiliki efek pada manusia. Kadar 51-150 (µg/m³) masuk dalam kategori sedang dan jarak pandang yang menurun. Kadar 151-350 (µg/m³) masuk dalam kategori tidak sehat dan udara tercemar. Kadar 351-420 (µg/m³) masuk dalam kategori sangat tidak sehat dan juga sensitivitas pasien asma dan ISPA yang meningkat. Kadar >420 masuk dalam kategori berbahaya yang mengakibatkan kematian [15].

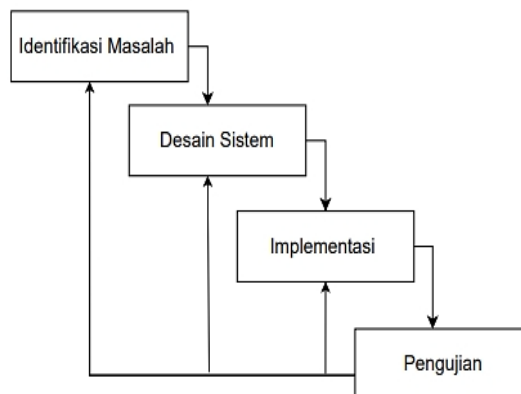
2.3 Internet of Things dan Algoritma Rule-Based

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) memperluas penggunaan telemetri, memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data melalui internet. IoT memberikan kemampuan untuk memantau dan mengendalikan sistem secara real-time [16]. IoT merupakan suatu gagasan dimana seluruh barang yang ada di dunia bisa berkomunikasi antara satu dan yang lain selaku bagian dari perpaduan satu kesatuan sistem yang

memakai jaringan internet selaku penghubung. IoT bekerja dengan cara memanfaatkan suatu argumentasi pemrograman, setiap perintah argument akan menghasilkan suatu interaksi yang terjadi antara mesin dengan mesin dan terhubung otomatis tidak ada campur tangan seseorang dan tidak dibatasi jarak. Yang menjadi penghubung antara interaksi kedua mesin adalah internet, sementara tugas manusia hanya sebagai pengatur dan mengawasi alat tersebut bekerja secara langsung [17][18]. Sedangkan rule based merupakan pendekatan yang sering digunakan dalam sistem pendukung keputusan, di mana basis pengetahuan memainkan peran kunci. Metode ini mengadopsi teknik-teknik kecerdasan buatan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan serangkaian aturan yang telah ditetapkan. Proses ini melibatkan beberapa tahapan penting: Pengumpulan Basis Pengetahuan. Langkah pertama dalam metode Rule-Based adalah mengumpulkan fakta-fakta atau data yang relevan. Basis pengetahuan ini berisi informasi penting yang akan digunakan untuk membuat keputusan. Penerapan Aturan (Rule): Aturan dalam metode Rule-Based biasanya diformulasikan dalam format "IF-THEN". "IF" merepresentasikan kondisi atau situasi tertentu, sedangkan "THEN" merepresentasikan tindakan atau hasil yang harus diambil atau diharapkan jika kondisi tersebut terpenuhi. Kriteria Berhenti: Penting untuk menetapkan kriteria berhenti untuk menghindari looping atau pengulangan yang tidak terbatas. Kriteria ini menentukan kapan sistem harus berhenti menerapkan aturan, biasanya setelah kondisi yang ditetapkan telah terpenuhi [19].

2.4 Metode *Waterfall*

Pada Penelitian ini dilakukan di jalan pabrik Omya Kandang Semangkon Paciran Lamongan. Penelitian ini menggunakan metode *Waterfall*, yaitu metode perangkat lunak yang terdiri dari 4 langkah pemodelan. Langkah-langkahnya mencakup analisis dan definisi kebutuhan, desain sistem, implementasi dan pengujian, integrasi dan pengujian sistem, serta pengoperasian dan pemeliharaan. Selain itu, metode *Waterfall* dipilih karena memungkinkan proses pengembangan sistem yang terstruktur dan sistematis. Setiap langkahnya harus diselesaikan sebelum melanjutkan ke langkah berikutnya, sehingga memastikan keberlanjutan dan akurasi dalam pengembangan sistem. Metode ini juga memungkinkan adanya evaluasi berkala pada setiap tahap, sehingga meminimalkan resiko kesalahan pada akhir pengembangan [20]. Gambaran mengenai penerapan metode *Waterfall* dalam prosedur penelitian untuk sistem *monitoring* dan *forecasting* kadar PM10 pada Gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Alur penelitian pada Gambar 1 menjelaskan sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah: Peneliti mendefinisikan dan menganalisis masalah, menetapkan tujuan, serta mengembangkan solusi dengan mempelajari literatur dan observasi.
2. Desain Sistem: Desain mencakup diagram alir data (DFD), sensor, basis data, dan antarmuka untuk menampilkan data PM10 dalam tabel atau grafik.
3. Implementasi Sistem: Sistem dikembangkan menggunakan Bahasa C untuk sensor, JavaScript, PHP, dan MySQL. Data PM10 dikumpulkan dan ditampilkan secara real-time melalui sistem web dengan Mikrokontroler ESP32.
4. Pengujian Sistem: Menggunakan metode black-box untuk memastikan sistem berfungsi dengan benar dan mendeteksi kesalahan.

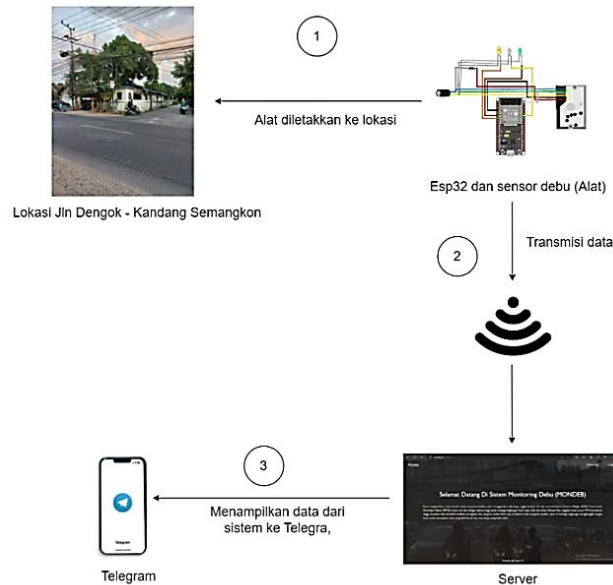
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Masalah

Penelitian ini dilakukan di desa kandang semangkon kabupaten lamongan dengan jangka waktu 2 hari di mulai dari jam 08.00 sampai dengan jam 15.00 WIB dengan rentang pengambilan data dilakukan sekitar 5 menit sekali

3.2 Desain Sistem

Desain sistem pemantauan kualitas udara menggunakan Algoritma rule based berbasis IoT seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Sistem Alat

Pada Gambar 2 Hasil dari desain sistem pemantauan kualitas udara di mulai dari meletakkan sensor di lokasi kemudian menghubungkan sensor yang bertukar informasi menggunakan koneksi wifi yang diteruskan dan diproses dalam tampilan website dan jika kadar PM10 di atas nilai aman maka sistem akan mengirimkan laporan melalui telegram.

3.3 Implementasi

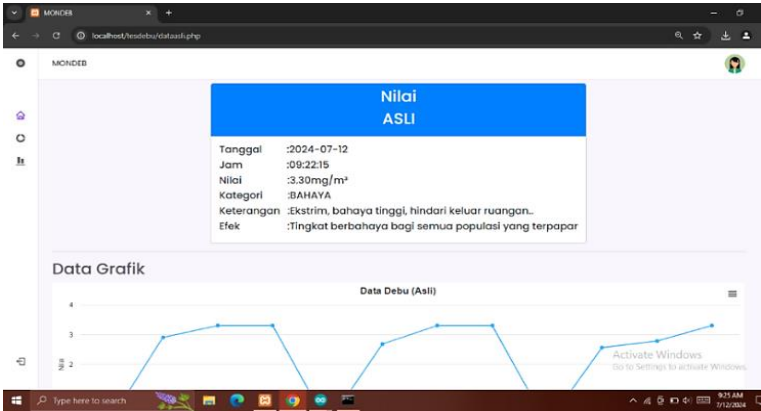
Pada implementasi sistem pemantauan kadar debu/PM10 ini melibatkan perakitan perangkat keras yang terdiri dari sensor debu PM10 Sharp GP2Y1010AU0F, mikrokontroler NodeMCU ESP32, dan komponen pendukung lainnya. Proses ini dilanjutkan dengan pengembangan perangkat lunak untuk pengolahan data sensor dan pengiriman data ke platform web. Integrasi dengan layanan pesan instan Telegram dilakukan untuk memungkinkan notifikasi real-time kepada pengguna. Setelah perakitan dan pengujian, sistem kemudian dipasang di lokasi yang telah ditentukan untuk melakukan pemantauan kualitas udara secara kontinu. seperti yang terlihat pada Gambar 3. Tampilan akhir dari alat pemantauan kadar debu/PM10 terdiri dari Sensor Sharp GP2Y1010AU0F, LED, dan NodeMCU ESP32, yang terhubung ke aplikasi Telegram melalui web dan jaringan internet.



Gambar 3. Tampilan Alat Pemantauan Kadar PM10

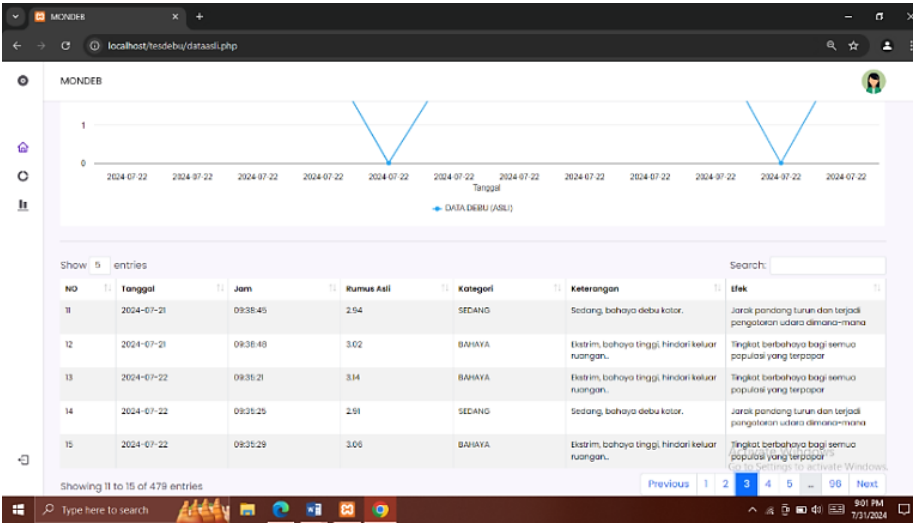
Dalam implementasi ini, terdapat bagian-bagian penting seperti Dashboard Data Asli, Dashboard Tabel, dan Konfigurasi Telegram, untuk memantau dan mengelola data secara efektif, yang dapat dilihat sebagai berikut:

1. Menu "Data Asli" pada gambar 4 menampilkan nilai asli dari sensor PM10 secara detail, termasuk tanggal, waktu, konsentrasi PM10, dan status kualitas udara. Grafik real-time menunjukkan fluktuasi kadar debu, memberikan gambaran jelas tentang perubahan kualitas udara. Antarmuka ini dirancang untuk mudah dipahami, memudahkan pemantauan dan analisis.



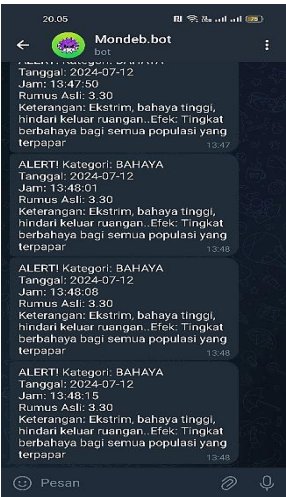
Gambar 4. Dashboard Data Asli

2. Kemudian pada Gambar 5 menunjukkan tabel dalam sistem PM10 yang menampilkan data pemantauan debu secara *real-time*. Tabel ini mencakup tanggal, waktu pengambilan data, dan nilai dari sensor. Adanya kolom status dan keterangan tambahan juga membantu dalam memberikan interpretasi yang cepat mengenai apakah kualitas kadar PM10 Aman, Waspada, atau Berbahaya. Kolom ini memudahkan interpretasi cepat mengenai kondisi kadar PM10.



Gambar 5. Dashboard Tabel

3. Kondisi yang ditampilkan di *website* akan dikirim sebagai keluaran ke Telegram, yang kemudian akan memberikan notifikasi berkala mengenai hasil pembacaan sensor sesuai dengan kondisi PM10/debu. Notifikasi akan muncul jika kadar debu dianggap BERBAHAYA. Hasil konfigurasi Telegram dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konfigurasi Telegram

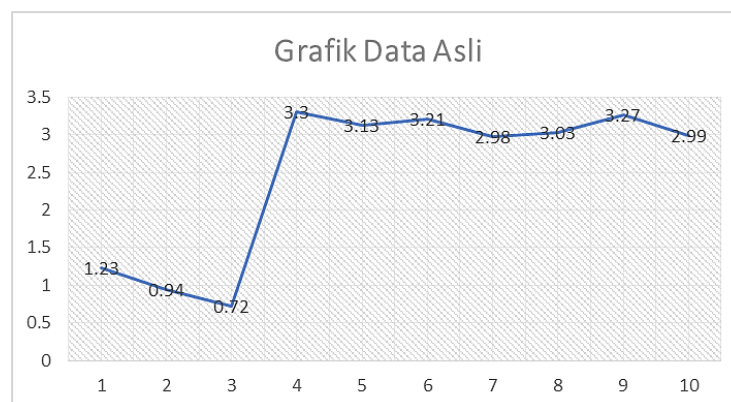
3.4 Hasil Uji Kadar PM10

Pada penelitian ini diperoleh data hasil pengujian sistem telemetri cerdas untuk monitoring kadar PM10 menggunakan Algoritma Rule-Based, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kadar PM10 Hari Ke-1

No.	Jam	Kadar PM10	Kategori	Keterangan	Efek
1.	08:09:31	1.23	BAIK	Sangat rendah, aman tanpa masker	Tidak ada efek
2.	08:14:42	0.94	BAIK	Sangat rendah, aman tanpa masker	Tidak ada efek
3.	08:19:59	0.72	BAIK	Sangat rendah, aman tanpa masker	Tidak ada efek
4.	11:18:53	3.30	BAHAYA	Ekstrim, bahaya tinggi	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar
5.	11:23:11	3.13	BAHAYA	Ekstrim, bahaya tinggi	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar
6.	11:28:02	3.21	BAHAYA	Ekstrim, bahaya tinggi	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar
7.	14:16:04	2.98	SEDANG	Sedang, bahaya debu kotor	Jarak pandang turun & terjadi pengotoran udara dimana-mana
8.	14:21:10	3.03	SEDANG	Sedang, bahaya debu kotor	Jarak pandang turun & terjadi pengotoran udara dimana-mana
9.	14:26:38	3.27	BAHAYA	Ekstrim, bahaya tinggi	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar
10.	14:31:12	2.99	SEDANG	Sedang, bahaya debu kotor	Jarak pandang turun & terjadi pengotoran udara dimana-mana

Pada tabel 2 menjelaskan pada rentan waktu 08:09:31 kadar PM10 tercatat sebesar 1,23 yang dikategorikan baik. Nilai ini menunjukkan tingkat yang sangat rendah, sehingga udara aman untuk dihirup tanpa memerlukan masker dan tidak memberi efek negatif terhadap kesehatan. Sedangkan pada rentan waktu 11:18:53 kadar PM10 tercatat 3,30 yang dikategorikan kondisi berbahaya. Nilai ini berada pada tingkat ekstrim dengan resiko bahaya tinggi, memberikan dampak yang berbahaya bagi seluruh populasi yang terpapar. Sementara itu, pada rentan waktu 14:31:12, kadar PM10 tercatat sebesar 2,99 yang dikategorikan dalam kondisi sedang. Nilai ini menunjukkan adanya sedang, bahaya debu kotor, ditandai dengan penurunan jarak pandang serta pengotoran udara yang tersebar luas. Berdasarkan tabel hasil konsentrasi sistem website monitoring di hari pertama sensor PM10/debu dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hari ke-1

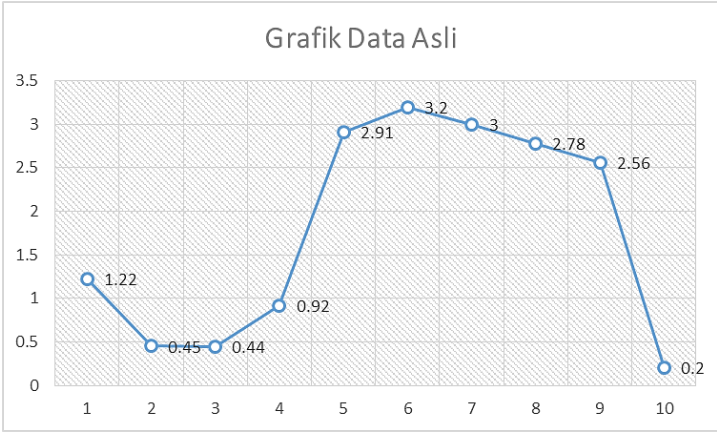
Pada gambar 7 awal pengukuran menunjukkan, nilai PM10 berada di angka 1,23. Pada titik ketiga, nilai turun sedikit hingga mencapai nilai terendah sebesar 0,72, tetapi pada titik keempat, nilai melonjak tajam hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 3,3. Setelah kenaikan ini, nilai PM10 cenderung stabil dengan sedikit variasi antara 3.13 dan 3.27 pada titik kesepuluh. Grafik ini menunjukkan data kualitas udara yang tidak stabil, dengan perubahan besar yang mungkin disebabkan oleh aktivitas eksternal atau faktor lingkungan.

Tabel 3. Hasil Uji Kadar PM10 Hari Ke-2

No.	Jam	Kadar PM10	Kategori	Keterangan	Efek
1.	08:32:10	1.22	BAIK	Sangat rendah, aman	Tidak ada efek

No.	Jam	Kadar PM10	Kategori	Keterangan	Efek
2.	08:37:18	0.45	BAIK	tanpa masker Sangat rendah,aman	Tidak ada efek
3.	08:42:25	0.44	BAIK	tanpa masker Sangat rendah,aman	Tidak ada efek
4.	10:51:21	0.92	BAIK	tanpa masker Sangat rendah,aman	Tidak ada efek
5.	10:56:38	2.91	SEDANG	Sedang, bahaya debu kotor	Jarak pandang turun & terjadi pengotoran udara dimana-mana
6.	10:41:35	3.20	BAHAYA	Ekstrim,bahaya tinggi	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar
7.	14:23:17	3.00	BAHAYA	Ekstrim,bahaya tinggi	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar
8.	14:28:31	2.78	SEDANG	Sedang, bahaya debu kotor	Jarak pandang turun & terjadi pengotoran udara dimana-mana
9.	14:33:38	2.56	SEDANG	Sedang, bahaya debu kotor	Jarak pandang turun & terjadi pengotoran udara dimana-mana
10.	14:38:00	0.20	BAIK	Sangat rendah,aman tanpa masker	Tidak ada efek

Pada tabel 3 menjelaskan pada rentan waktu 08:32:10, kadar PM10 tercatat sebesar 1,22 yang dikategorikan baik. Kadar ini sangat rendah, sehingga udara aman untuk dihirup tanpa menggunakan masker, dan tidak menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan. Begitu juga pada rentan waktu 10:51:21, kadar PM10 tercatat 0,92 yang dikategorikan baik. Kadar ini sangat rendah, sehingga udara aman untuk dihirup tanpa masker, dan tidak menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan. Namun, pada rentan waktu 14:23:17, kadar PM10 tercatat sebesar 3,00 yang dikategorikan berbahaya. Nilai ini berada pada tingkat ekstrim dengan resiko bahaya tinggi, yang dapat menimbulkan dampak berbahaya bagi seluruh populasi yang terpapar. Berdasarkan tabel hasil konsentrasi sistem website monitoring di hari kedua sensor PM10/debu dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hari ke-2

Pada Gambar 8. Dijelaskan bahwa awal nilai PM10 pada awalnya berada di angka 1,22 pada titik pertama, tetapi kemudian mulai menurun secara bertahap hingga mencapai nilai terendah sebesar 0,44 pada titik ketiga. Pada titik keempat, nilai mulai meningkat secara bertahap hingga 0,92, sebelum melonjak tajam ke 2,91 pada titik kelima dan mencapai nilai tertinggi sebesar 3,2 pada titik keenam. Pada titik ketujuh, nilai PM10 mulai turun secara bertahap dari 3,0 pada titik ketujuh hingga 2,56 pada titik ke sepuluh, titik terakhir, mengalami penurunan signifikan dengan nilai 0,2. Ini adalah nilai terendah kedua setelah titik ketiga. Grafik ini menunjukkan pola fluktuasi yang jelas, dengan pergeseran tajam di beberapa titik. Pola ini menunjukkan variasi besar yang mungkin disebabkan oleh faktor-faktor yang berasal dari lingkungan, seperti aktivitas manusia dan kondisi lingkungan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem telemetri cerdas berbasis IoT dengan Algoritma Rule-Based untuk memantau kadar PM10 secara real-time. Sistem ini dirancang untuk memberikan informasi yang akurat mengenai kualitas udara dan mengirimkan notifikasi melalui Telegram ketika kadar PM10 mencapai level yang

berbahaya. Mikrokontroler NodeMCU ESP32 digunakan untuk mendukung pengoperasian sistem, termasuk pemantauan otomatis kadar debu/PM10. Teknologi IoT memungkinkan sistem untuk terhubung dan dikendalikan secara remote melalui jaringan internet. Berdasarkan hasil pengujian, kadar PM10 tercatat mencapai $3,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada beberapa waktu tertentu, yang tergolong berbahaya dan dapat berdampak serius bagi kesehatan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap bahaya pencemaran udara, tetapi juga memberikan solusi inovatif untuk aplikasi lingkungan. Data pengukuran menunjukkan adanya variasi kadar PM10 di lokasi dan waktu yang berbeda, dengan contoh nilai $2,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada Tabel 1 dan $1,768 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada Tabel 2, yang tetap dapat dipantau dengan efektif oleh sistem untuk memastikan kualitas udara tetap terjaga.

REFERENCES

- [1] A. R. Perdana, A. Indiani Pangastuti, and Y. Donni Haryanto, "ANALISIS KONSENTRASI PM10 dan PM2.5 PADA TITIK PEMANTAUAN BUNDARAN HI JAKARTA PUSAT PERI- ODE DATA FEBRUARI-OKTOBER 2021," *J. Samudra Geogr.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.33059/jsg.v6i1.7158.
- [2] E. Yusianti, M. Jahiding, and W. O. S. Ilmawati, "Analisis indeks pencemaran udara SO₂, CO, NO₂, dan PM10 di kawasan kota Kendari," *J. Apl. Fis.*, vol. 20, no. 01, pp. 35–43, 2024, doi: 10.62749/jaf.v20i01.p35-43.
- [3] Rosatul Umah and Eva Gusmira, "Dampak Pencemaran Udara terhadap Kesehatan Masyarakat di Perkotaan," *Profit J. Manajemen, Bisnis dan Akunt.*, vol. 3, no. 3, pp. 103–112, 2024, doi: 10.58192/profit.v3i3.2246.
- [4] U. Muhammadiyah and M. Bungo, "Jurnal Informatika Medis (J-INFORMED) Jurnal Informatika Medis (J-INFORMED)," vol. 1, no. 2, pp. 48–52, 2023, doi:org/10.52060/im.v1i2.1646.
- [5] H. Alfian, S. Wahyuni, A. Revalino, M. F. Mirano, E. Rahmayana, and H. Mukhtar, "Teknik Machine Learning Untuk Analisa Klasifikasi Kualitas Udara: a Review," *J. Softw. Eng. Inf. Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 108–118, 2021, doi: 10.37859/seis.v4i2.7617.
- [6] M. I. Ghozali, A. A. Riadi, D. A. Putra, and W. H. Sugiharto, "RESOLUSI : Rekayasa Teknik Informatika dan Informasi Pengembangan Sistem Sortir Otomatis untuk Jeruk Citrus: Integrasi Teknologi Sensor dan Algoritma Rule-Based," vol. 4, no. 3, pp. 241–248, 2024
- [7] D. Yudo Setyawan and R. Marjunus, "Automasi dan Internet of Things (IoT) pada Pertanian Cerdas: review artikel pada Jurnal Terakreditasi Kemenristek," *Pros. ...*, no. April, p. 9, 2024,
- [8] A. U. Abidin, N. Henita, S. Rahmawati, and F. B. Maziya, "Analisis Risiko Kesehatan Paparan Debu Terhadap Fungsi Paru Pada Pekerja Di Home Industry C-Max," *J. Sains &Teknologi Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 34–39, 2021, doi: 10.20885/jstl.vol13.iss1.art3.
- [9] S. Sadi, S. Mulyati, and P. B. Setiawan, "Internet of Things Pada Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Web Server," *Formosa J. Multidiscip. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 1085–1094, 2022, doi: 10.55927/fjmr.v1i4.679.
- [10] M. Melvi, C. A. Shevia, Y. Yuniati, M. A. M. Batubara, A. Ulvan, and A. Aryanto, "Analisis Rancangan Antena Telemetri Jenis Dipole pada Unmanned Aerial Vehicle (*Analysis of Dipole Type Telemetry Antenna Design on Unmanned Aerial Vehicle*) ," *J. Teknologi Riset Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 87–95, 2023, doi: 10.35912/jatra.v1i2.2404.
- [11] S.Ikhwan Prayoga, and Dedi Triyanto, "SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA SECARA REALTIME DENGAN PERINGATAN BAHAYA KUALITAS UDARA TIDAK SEHAT MENGGUNAKAN PUSH NOTIFICATION," *J. Komputer dan Aplikasi*, vol. 7, no. 2, pp. 9–19, 2020.
- [12] G. K. S. Putra, A. Aranta, G. P. S. Wijaya, and G. Andika, "Rancang Bangun Aplikasi Transliterasi Aksara Bali Menjadi Huruf Latin Menggunakan Metode Rule Based Pada UTF-16 Berbasis Android," *J.Resistor.*, vol. 6, no.3, pp. 104-114, 2023, doi: 10/31598.
- [13] J. Fitra, D. Rofianto, and K. Amaliah, "Implementasi Sistem Telemetri Monitoring Gas serta Suhu dan Kelembaban Pada Kandang Ayam Closed House Berbasis IoT," *JoMMiT J. Multi Media dan IT*, vol. 8, no. 1, pp. 001–006, 2024, doi: 10.46961/jommit.v8i1.1266.
- [14] E. Nur, B. A. Seno, and R. Hidayanti, "Risiko Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Paparan PM10 di Kota Padang," *J. Kesehat. Lingkung. Indones.*, vol. 20, no. 2, pp. 97–103, 2021, doi: 10.14710/jkli.20.2.97-103.
- [15] M. A. Boeaya, R. M. Sari, E. Girasto, S. Husna, and R. Kurniawan, "Klasifikasi Konsentrasi PM10 Berbasis Gambar Dengan Convolutional Neural Network," vol. 2024, no. Senada, pp. 546–557, 2024.
- [16] H. Alfikri, and K. Irianto, "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS PADA SISTEM PARKIR MASJID," *J.Pendidikan, Sains dan Teknologi.*, vol. 11, no.4, pp.1907–1920, 2024, doi: 10/47668/edusaintek.v11i4.1332.
- [17] I. P. Sari, A. Novita, A.-K. Al-Khowarizmi, F. Ramadhani, and A. Satria, "Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3," *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 4, pp. 337–343, 2024, doi: 10.56211/blendsains.v2i4.505.

- [18] J. Pebralia, H.Akhsan, and I.Amri, "IMPLEMENTASI *INTERNET OF THINGS* (IOT) DALAM MONITORING KUALITAS UDARA PADA RUANG TERBUKA," *J Kumparan Fisika.*, vol.7, no.1, pp. 1–8, 2024, doi:org/10.33369/jkf.7.1.1-8.
- [19] M. Husna, S. Faza, A. Lukcyhasnita, Y. Yusnida, and P. N. Medan, "Aplikasi diagnosa penyakit tanaman buah menggunakan metode rule based reasoning," *J. of Science and Social Research.*, vol. 4307, no. 4, pp. 1777–1781, 2024
- [20] Y. S. Rahayu, Y. Saputra, and D. Irawan, "Implementasi Metode Waterfall Pada Pengembangan Sistem Informasi Mobile E-Disarpus," *Zo. J. Sist. Inf.*, vol. 6, no. 2, pp. 523–534, 2024, doi: 10.31849/zn.v6i2.20538.