

**IMPLEMENTASI *INTERNET OF THINGS* UNTUK MONITORING DAN PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA STUDI KASUS SENSOR GAS**¹ Muhammad Noval Riswandha, ² Renita Selviana, ³ Nashrul Bahri^{1,2,3}Teknik Informasi, Institut Teknologi dan Bisnis Yadika, Pasuruan.email: 1mriswandha@itbyadika.ac.id, 2renita.selvi@itbyadika.ac.id, 323122001@mhs.itbyadika.ac.id

Naskah diterima : 1 Nopember 2024 ; Direvisi : 25 Nopember 2024 ; Disetujui : 26 Nopember 2024

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang efektif untuk monitoring dan pengendalian pencemaran udara. Metode pengembangan sistem proyek digunakan untuk merancang dan mengimplementasikan alat monitoring kandungan CO₂ di udara. Alat ini menggunakan sensor MQ-135 dan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontrolernya, yang terintegrasi dengan layar LCD dan dikirimkan data ke server web untuk memudahkan pemantauan. Analisis kebutuhan sistem, perancangan, dan implementasi dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik variabel serta tujuan penelitian. Hasil pengujian dilakukan di berbagai lokasi, termasuk alun-alun kota, perumahan padat, dan daerah pedesaan, pada berbagai waktu: pagi, siang, dan malam. Hasilnya menunjukkan bahwa alat ini dapat memberikan pembacaan kandungan CO₂ dengan akurasi tinggi dan dapat beroperasi secara optimal dalam berbagai kondisi lingkungan. Pengujian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pola distribusi kandungan CO₂ di udara dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pengembangan sistem ini memiliki potensi besar dalam membantu memantau dan mengendalikan pencemaran udara. Dengan adanya alat monitoring yang dapat diandalkan ini, diharapkan masyarakat dapat lebih sadar akan kualitas udara di sekitar mereka dan mengambil langkah-langkah preventif untuk menjaga lingkungan hidup yang lebih bersih dan sehat. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi berbasis IoT untuk pemantauan lingkungan yang lebih baik.

Kata kunci: *Internet of Things* (IoT), kualitas udara, CO₂, monitoring, pencemaran udara.**Abstract** (English Version)

This research aims to develop an effective *Internet of Things* (IoT)-based air quality monitoring system for air pollution monitoring and control. The project development method is used to design and implement a CO₂ air content monitoring tool. This tool uses the MQ-135 sensor and NodeMCU ESP8266 as its microcontroller, integrated with an LCD screen and data sent to a web server for easy monitoring. Analysis of system requirements, design, and implementation are carried out considering the characteristics of variables and research objectives. The testing was conducted in various locations, including city squares, densely populated residential areas, and rural areas, at different times: morning, afternoon, and evening. The results show that this tool can provide accurate CO₂ content readings and can operate optimally in various environmental conditions. These tests provide a better understanding of the distribution patterns of CO₂ content in the air and the factors that influence it. The conclusion of this research is that the development of this system has great potential to help monitor and control air pollution. With this reliable monitoring tool, it is hoped that the public can become more aware of the air quality around them and take preventive measures to maintain a cleaner and healthier environment. Furthermore, this research also contributes to the development of IoT-based technology for better environmental monitoring.

Keywords: *Internet of Things* (IoT), air quality, CO₂, monitoring, air pollution.

PENDAHULUAN

Pencemaran udara adalah salah satu tantangan lingkungan yang mendesak di era modern ini. Fenomena ini tidak terbatas pada wilayah tertentu; dampaknya dapat dirasakan secara global[1][2]. Kota-kota besar, seperti Kota Pasuruan, tidak luput dari dampak merugikannya. Pertumbuhan industri, aktivitas transportasi yang padat, dan pola konsumsi energi yang berkelanjutan telah menyebabkan peningkatan emisi gas berbahaya ke atmosfer, mengakibatkan penurunan kualitas udara yang dapat dihirup oleh penduduk kota. Di tengah kemajuan teknologi dan urbanisasi yang cepat, penting bagi kita untuk memahami implikasi dan solusi yang tersedia untuk mengatasi masalah ini[3].

Kualitas udara yang buruk memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia. Gas-gas polutan dapat memicu berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, bahkan kanker[4][5]. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan kualitas udara adalah suatu keharusan yang tidak bisa diabaikan. Kota Pasuruan, seperti banyak kota lainnya, menghadapi tekanan besar dalam mengatasi masalah pencemaran udara ini. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa peningkatan emisi polutan di wilayah perkotaan berhubungan langsung dengan berbagai masalah kesehatan yang dialami oleh penduduk[6][7].

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi Internet of Things (IoT) telah muncul sebagai solusi potensial untuk memantau dan mengendalikan pencemaran udara. Konsep IoT melibatkan penggunaan sensor yang terhubung ke jaringan internet untuk mengumpulkan dan mentransmisikan data secara real-time[3][8][9]. Dengan memanfaatkan kecanggihan teknologi ini, kita dapat mengumpulkan informasi yang akurat dan terperinci tentang kualitas udara di berbagai titik di Kota Pasuruan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa implementasi teknologi IoT dalam pemantauan lingkungan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi data yang diperoleh, sehingga memberikan dasar yang lebih kuat untuk pengambilan keputusan kebijakan[10].

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan penting terkait pencemaran udara di Kota Pasuruan. Pertama, bagaimana tingkat pencemaran udara di Kota Pasuruan? Kedua, bagaimana efektivitas teknologi IoT dalam memantau dan mengendalikan pencemaran udara? Ketiga, apa dampak penggunaan teknologi IoT terhadap kebijakan pengelolaan lingkungan di Kota Pasuruan? Dengan mengembangkan sistem berbasis IoT yang dapat memantau dan mengendalikan pencemaran udara, penelitian ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara teknologi modern dan penanganan masalah lingkungan[9].

Dengan memanfaatkan sensor gas yang canggih, sistem ini akan mampu memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan tentang

tingkat polusi udara di kota ini. Tujuan spesifik penelitian ini adalah untuk mengukur dan menganalisis tingkat pencemaran udara di Kota Pasuruan, menilai efektivitas sistem berbasis IoT dalam memantau kualitas udara secara real-time, serta memberikan rekomendasi kebijakan berdasarkan data yang diperoleh untuk meningkatkan kualitas udara di Kota Pasuruan[3][7].

Penelitian ini tidak mutlak memerlukan hipotesis, namun didasarkan pada asumsi bahwa penerapan teknologi IoT dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan monitoring dan pengendalian pencemaran udara, serta memberikan data yang akurat yang dapat digunakan untuk pembuatan kebijakan lingkungan yang lebih efektif dan berkelanjutan. Melalui pendekatan interdisipliner, kami akan menggabungkan pengetahuan teknis dan keilmuan dalam ilmu lingkungan untuk merancang solusi yang efektif dan berkelanjutan.

Langkah-langkah praktis akan diambil untuk menerapkan sistem ini secara nyata di lapangan, dengan tujuan utama untuk memberikan kontribusi nyata dalam upaya perbaikan kualitas udara dan kesehatan masyarakat di Kota Pasuruan. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika pencemaran udara di lingkungan perkotaan. Hasilnya diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengambilan kebijakan yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam penanganan masalah lingkungan yang semakin mendesak ini.

Dengan demikian, langkah-langkah praktis yang diusulkan dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan masyarakat Kota Pasuruan serta wilayah sekitarnya.

METODE

Penelitian ini mengadopsi metodologi yang komprehensif untuk merancang dan mengimplementasikan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bertujuan untuk memantau pencemaran udara di Kota Pasuruan. Langkah-langkah metodologi yang dilakukan mencakup tahap-tahap berikut:

Pertama, dalam rancangan penelitian, pendekatan kuantitatif digunakan untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil penelitian. Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan analisis mendalam terhadap kebutuhan sistem[11][12]. Hal ini melibatkan identifikasi persyaratan fungsional dan non-fungsional dari sistem yang akan dikembangkan, termasuk pemilihan sensor gas yang sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis ini membantu dalam menyusun desain teknis yang terperinci[7][13].

Selanjutnya, setelah analisis kebutuhan sistem, dilakukan perancangan sistem yang mencakup aspek perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras seperti sensor gas dipilih berdasarkan kualitas, akurasi, dan kompatibilitasnya dengan platform IoT yang akan digunakan. Selain itu, perangkat lunak

seperti aplikasi pengguna juga dirancang untuk memudahkan penggunaan sistem. Pemilihan sensor didasarkan pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan efektivitas berbagai jenis sensor dalam memantau kualitas udara[8][14].

Tahap implementasi dilakukan setelah perancangan sistem selesai. Ini melibatkan pengembangan dan implementasi perangkat keras dan perangkat lunak sesuai dengan desain yang telah dibuat. Sensor gas dihubungkan ke platform IoT dan aplikasi pengguna dikembangkan untuk memantau dan mengelola data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor tersebut. Implementasi dilakukan di beberapa titik strategis di Kota Pasuruan yang dipilih berdasarkan tingkat kepadatan lalu lintas, aktivitas industri maupun aktivitas masyarakat sebagai sampel[8].

Setelah implementasi selesai, langkah selanjutnya adalah pengujian dan evaluasi sistem. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, termasuk pengujian fungsionalitas sensor, keakuratan data yang dikumpulkan dan respons sistem terhadap perubahan kualitas udara. Evaluasi juga mencakup pengujian fungsionalitas aplikasi pengguna dan kepuasan pengguna terhadap antarmuka yang disediakan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data yang dikumpulkan oleh sensor IoT dengan data yang diperoleh dari alat pengukur kualitas udara standar.

Terakhir, hasil data yang terkumpul dianalisis dan diinterpretasikan menggunakan metode pengolahan data yang sesuai. Analisis

data dilakukan dengan menggunakan teknik statistik untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam data pencemaran udara. Hasil analisis digunakan untuk memvalidasi hipotesis penelitian, mengevaluasi keberhasilan sistem dalam memenuhi tujuan penelitian, dan membuat kesimpulan yang mendukung.

Penelitian ini dilakukan di berbagai lokasi di Kota Pasuruan yang dipilih berdasarkan kriteria tertentu seperti kepadatan penduduk, aktivitas industri dan lalu lintas. Lokasi-lokasi ini termasuk pusat kota, kawasan industri, daerah pemukiman dan pedesaan yang asri. Setiap lokasi dipantau secara kontinu menggunakan sensor IoT yang dipasang di berbagai titik strategis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan sensor IoT untuk memantau kualitas udara di Kota Pasuruan. Hasil pengukuran menunjukkan variasi tingkat pencemaran udara tergantung pada lokasi dan waktu[15]. Data ini disajikan dalam tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi, dan menunjukkan bahwa area dengan aktivitas industri tinggi memiliki tingkat pencemaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan area pemukiman dan desa. Berikut adalah hasil pengukuran yang telah dilakukan.

Tabel 1. Kadar ppm pada udara di pagi hari

No	Waktu	Tempat	CO	CO2	Asap
1	07.30	Pusat Kota	0.5	400	0.1
2	07.30	Kawasan Industri	1.2	475	0.5
3	07.30	Daerah Pemukiman	0.8	420	0.3
4	07.30	Desa Asri	0.3	378	0.1

Tabel 2. Kadar ppm pada udara di siang hari

No	Waktu	Tempat	CO	CO2	Asap
1	13.10	Pusat Kota	0.9	520	0.3
2	13.10	Kawasan Industri	2.7	633	1.3
3	13.10	Daerah Pemukiman	1.3	486	0.8
4	13.10	Desa Asri	0.9	412	0.4

Tabel 3. Kadar ppm pada udara di sore hari

No	Waktu	Tempat	CO	CO2	Asap
1	16.30	Pusat Kota	0.8	427	0.4
2	16.30	Kawasan Industri	1.8	531	1.2
3	16.30	Daerah Pemukiman	1.1	455	0.6
4	16.30	Desa Asri	0.7	400	0.5

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan teknik statistik seperti analisis regresi untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pencemaran udara. Analisis ini menunjukkan bahwa variasi tingkat pencemaran udara dipengaruhi oleh waktu dan lokasi[15]. Di pagi hari, tingkat pencemaran relatif lebih rendah karena aktivitas industri dan transportasi belum mencapai puncaknya. Di siang hari, tingkat pencemaran meningkat signifikan, terutama di kawasan industri dan pusat kota, karena aktivitas industri dan kendaraan bermotor mencapai puncaknya. Di sore hari, meskipun aktivitas mulai berkurang, tingkat pencemaran masih cukup tinggi terutama di kawasan industri.

Data menunjukkan bahwa di kawasan industri, kadar CO, CO₂, dan asap mencapai puncaknya pada siang hari, dengan masing-masing nilai sebesar 2.7 ppm untuk CO, 633 ppm untuk CO₂, dan 1.3 ppm untuk asap. Sementara itu, di daerah pemukiman,

meskipun tingkat pencemaran juga meningkat pada siang hari, nilainya lebih rendah dibandingkan dengan kawasan industri, yaitu 1.3 ppm untuk CO, 486 ppm untuk CO₂, dan 0.8 ppm untuk asap. Desa Asri, yang merupakan area dengan aktivitas industri minimal, menunjukkan kadar polutan yang paling rendah di semua waktu pengukuran.

Evaluasi sistem menunjukkan bahwa sensor IoT mampu memberikan data yang akurat dan real-time mengenai kualitas udara[11][7]. Data yang dikumpulkan oleh sensor IoT dibandingkan dengan data dari alat pengukur kualitas udara standar menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat digunakan secara efektif untuk memantau pencemaran udara di lingkungan perkotaan[16][3]. Selain itu, sistem ini memungkinkan pemantauan yang kontinu dan real-time, memberikan data yang lebih dinamis dan responsif terhadap perubahan kualitas udara dibandingkan metode pengukuran tradisional[17][11].

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa rekomendasi kebijakan dapat diberikan kepada pemerintah kota Pasuruan untuk mengurangi pencemaran udara:

1. Pengawasan Ketat di Kawasan Industri: Pemerintah perlu meningkatkan pengawasan dan regulasi di kawasan industri untuk memastikan bahwa emisi polutan dari pabrik dan fasilitas industri lainnya berada dalam batas yang diperbolehkan.

2. Pembatasan Emisi Kendaraan: Implementasi program-program untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor, seperti pembatasan penggunaan kendaraan pribadi di pusat kota pada jam sibuk, peningkatan kualitas bahan bakar, dan promosi penggunaan transportasi umum.
3. Peningkatan Ruang Hijau: Menambah jumlah dan kualitas ruang hijau di area perkotaan untuk membantu menyerap polutan dan meningkatkan kualitas udara.
4. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Kampanye untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kualitas udara dan langkah-langkah yang bisa mereka ambil untuk mengurangi polusi udara.

Dengan mengikuti metodologi ini, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem berbasis IoT yang efektif dan dapat diimplementasikan untuk memantau dan mengendalikan pencemaran udara di Kota Pasuruan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan kebijakan yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah pencemaran udara..

PENUTUP

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat pencemaran udara di Kota Pasuruan bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu, dengan kawasan industri menunjukkan tingkat pencemaran

tertinggi. Data yang diperoleh dari sensor IoT menunjukkan akurasi tinggi ketika dibandingkan dengan alat pengukur kualitas udara standar, menegaskan bahwa teknologi IoT dapat digunakan secara efektif untuk memantau pencemaran udara secara real-time di lingkungan perkotaan.

Hasil penelitian ini memberikan beberapa wawasan penting:

1. Tingkat Pencemaran Udara: Area dengan aktivitas industri tinggi menunjukkan tingkat pencemaran yang signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan area pemukiman dan desa, terutama pada siang hari ketika aktivitas industri dan transportasi mencapai puncaknya.
2. Efektivitas Sensor IoT: Sensor IoT terbukti mampu memberikan data akurat dan real-time mengenai kualitas udara, yang sangat penting untuk pemantauan dinamis dan responsif terhadap perubahan kualitas udara.
3. Pengaruh Waktu: Tingkat pencemaran udara cenderung meningkat pada siang hari dan menurun di pagi dan sore hari, namun tetap tinggi di kawasan industri sepanjang hari.

Dari hasil ini, beberapa rekomendasi kebijakan dapat diberikan kepada pemerintah kota Pasuruan untuk mengurangi pencemaran udara:

- Pengawasan Ketat di Kawasan Industri: Meningkatkan pengawasan dan regulasi di kawasan industri untuk memastikan bahwa

emisi polutan dari pabrik dan fasilitas industri lainnya berada dalam batas yang diperbolehkan.

- Pembatasan Emisi Kendaraan: Mengimplementasikan program-program untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor, seperti pembatasan penggunaan kendaraan pribadi di pusat kota pada jam sibuk, peningkatan kualitas bahan bakar, dan promosi penggunaan transportasi umum.
- Peningkatan Ruang Hijau: Menambah jumlah dan kualitas ruang hijau di area perkotaan untuk membantu menyerap polutan dan meningkatkan kualitas udara.
- Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Mengadakan kampanye untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kualitas udara dan langkah-langkah yang bisa mereka ambil untuk mengurangi polusi udara.

Penelitian ini menunjukkan potensi besar penggunaan teknologi IoT dalam memantau dan mengendalikan pencemaran udara di kota-kota besar. Hasil yang diperoleh dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan kebijakan yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah pencemaran udara. Dengan demikian, langkah-langkah praktis yang diusulkan dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam menjaga kesehatan dan kesejahteraan masyarakat Kota Pasuruan serta wilayah sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Putro, D. A. Hidayat, F. F. Heratama, A. D. Cahyo, D. E. Yulian, and Y. A. Prabowo, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Mikrokontroler ESP32 Dengan Sensor MQ2 Berbasis Internet of Things," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK)*, vol. 1, no. 1, pp. 217-224, Apr. 2023, doi: 10.31284/P.SNESTIK.2023.4214.
- [2] R. Satra and A. Rachman, "Pengembangan Sistem Monitoring Pencemaran Udara Berbasis Protokol ZIGBEE dengan Sensor CO," *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 8, no. 1, p. 17, Apr. 2016, doi: 10.33096/ILKOM.V8I1.8.17-22.
- [3] A. S. Moursi, N. El-Fishawy, S. Djahel, and M. A. Shouman, "An IoT enabled system for enhanced air quality monitoring and prediction on the edge," *Complex and Intelligent Systems*, vol. 7, no. 6, pp. 2923-2947, Dec. 2021, doi: 10.1007/s40747-021-00476-w.
- [4] A. Octaviano, S. Sofiana, D. O. Agustino, and P. Rosyani, "Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things," *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 147-156, Oct. 2022, doi: 10.30865/KLIK.V3I2.566.
- [5] H. M. Tran *et al.*, "The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence," *Science of the Total Environment*, vol. 898, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166340.
- [6] R. Ramadhan and J. C. Chandra, "Reza Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT Dengan Nodemcu," Sep. 30, 2022. Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://senafti.budiluhur.ac.id/index.php/senafti/article/view/358>
- [7] H. Fauzian and R. Hidayat, "Sistem Monitoring Air Quality (Si Montoq) Menggunakan Sensor Mics-6814 dan DHT-11 Berbasis Internet of Things,"

- Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, vol. 2, pp. 6-9, Nov. 2023, doi: 10.58291/komets.v2i1.143.
- [8] T. N. Hakim and M. F. Susanto, "Prosiding The 11 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2020.
- [9] M. N. A. Ramadan, M. A. H. Ali, S. Y. Khoo, M. Alkhedher, and M. Alherbawi, "Real-time IoT-powered AI system for monitoring and forecasting of air pollution in industrial environment," *Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 283, p. 116856, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.ECOENV.2024.116856.
- [10] F. Prasetyo, E. Putra, M. Amir Mahmud, and I. S. Maqom, "Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus," *Digital Transformation Technology (Digitech) | e*, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3457.
- [11] S. Sadi, S. Mulyati, and P. B. Setiawan, "Internet of Things on the Air Quality Monitoring System Using a Web Server," *Asian Journal of Healthcare Analytics*, vol. 1, no. 2, pp. 109-118, Dec. 2022, doi: 10.55927/AJHA.V1I2.1669.
- [12] N. Fitriya and A. Alimin, "IMPLEMENTASI PAYMENT REMINDER PADA RANCANG BANGUN SISTEM PEMBIAYAAN SEKOLAH DI PAUD TERPADU AISYIYAH 1 BANGIL BERBASIS WEB MENGGUNAKAN FRAMEWORK LARAVEL," *Jurnal Sistem Informasi Aplikasi Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.53567/JOSIATI.V1I3.21.
- [13] F. D. Pramesti and M. N. Riswandha, "SISTEM INFORMASI POSYANDU BERBASIS WEB PENGGANTI BUKU KIA DIKELURAHAN KARANGKETUG MENGGUNAKAN METODE PIECES," *Jurnal Sistem Informasi Aplikasi Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.53567/JOSIATI.V1I3.23.
- [14] I. C. Donca, O. P. Stan, M. Misaros, A. Stan, and L. Miclea, "Comprehensive Security for IoT Devices with Kubernetes and Raspberry Pi Cluster," *Electronics 2024, Vol. 13, Page 1613*, vol. 13, no. 9, p. 1613, Apr. 2024, doi: 10.3390/ELECTRONICS13091613.
- [15] G. C. Rumampuk, V. C. Poekoel, and A. M. Rumagit, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruang Berbasis IoT," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 17, no. 1, pp. 11-18, Jan. 2022, doi: 10.35793/JTI.V17I1.34212.
- [16] A. Yasin, J. Delaney, C. T. Cheng, and T. Y. Pang, "The Design and Implementation of an IoT Sensor-Based Indoor Air Quality Monitoring System Using Off-the-Shelf Devices," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/APP12199450.
- [17] A. Yasin, J. Delaney, C. T. Cheng, and T. Y. Pang, "The Design and Implementation of an IoT Sensor-Based Indoor Air Quality Monitoring System Using Off-the-Shelf Devices," *Applied Sciences 2022, Vol. 12, Page 9450*, vol. 12, no. 19, p. 9450, Sep. 2022, doi: 10.3390/APP12199450.