

Pengembangan Sistem Deteksi Kualitas Udara Berbasis Sensor IoT Menggunakan Fitur Notifikasi Telegram di Terminal Tingkir, Salatiga

Alberth Pariama ^{1*}, Rissal Efendi ²

^{1*,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Satya Wacana, Kota Salatiga, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia.

Corresponding Email: abelopariama@gmail.com ^{1*}

Histori Artikel:

Dikirim 10 Januari 2025; *Diterima dalam bentuk revisi* 20 Februari 2025; *Diterima* 10 April 2025; *Diterbitkan* 10 Mei 2025. Semua hak dilindungi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STMIK Indonesia Banda Aceh.

Abstrak

Perubahan iklim dan polusi udara adalah dua masalah yang paling mendesak di dunia yang berdampak besar pada ekosistem dan kesehatan manusia. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat sistem pemantauan kualitas udara berbasis internet of things yang dapat mengidentifikasi polutan seperti CO₂, NO₂, dan PM_{2.5} secara real-time. Sistem yang memberi tahu pengguna melalui aplikasi seluler seperti Telegram setelah kualitas udara melebihi ambang batas tertentu dibuat dengan sensor MQ-135 dan DHT11. Penelitian dilakukan melalui eksperimen dengan pendekatan pengembangan. Studi literatur, perancangan sistem, pembuatan prototipe, dan evaluasi kinerja adalah semua bagian dari metodologi ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat membantu memantau kualitas udara dan meningkatkan kesadaran publik tentang lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini meningkatkan upaya untuk mengurangi polusi kualitas udara, terutama di kota-kota Indonesia.

Kata Kunci: Kualitas Udara; Internet Of Things; Pemantauan Real-Time.

Abstract

Climate change and air pollution are two of the world's most pressing issues that have a major impact on ecosystems and human health. The aim of this study is to create an internet of things-based air quality monitoring system that can identify pollutants such as CO₂, NO₂, and PM_{2.5} in real-time. The system that notifies users via a mobile application such as Telegram once the air quality exceeds a certain threshold is built with MQ-135 and DHT11 sensors. The study was conducted through an experiment with a development approach. Literature review, system design, prototyping, and performance evaluation are all part of this methodology. The results of the study show that the system can help monitor air quality and increase public awareness about the environment. Therefore, this study enhances efforts to reduce air quality pollution, especially in Indonesian cities.

Keyword: Air Quality; Internet Of Things; Real-Time Monitoring.

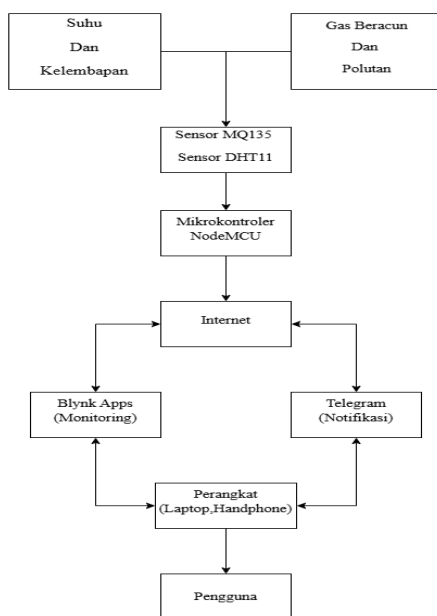
1. Pendahuluan

Perubahan iklim global menjadi salah satu isu lingkungan yang paling mendesak saat ini, terutama akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Gas-gas seperti karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) berkontribusi terhadap pemanasan global, yang pada gilirannya menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia serta ekosistem. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara memiliki peran penting dalam mengidentifikasi sumber pencemaran dan merumuskan strategi mitigasi yang efektif (IPCC, 2021). Berdasarkan data dari World Health Organization (WHO), sekitar 7 juta orang meninggal setiap tahun akibat paparan polusi udara, yang menegaskan perlunya sistem yang efektif dalam memonitor dan mengelola kualitas udara (WHO, 2021). Seiring dengan kemajuan teknologi, Internet of Things (IoT) telah muncul sebagai solusi inovatif dalam berbagai bidang, termasuk dalam pemantauan kualitas udara. Alat-alat berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time serta pengolahan informasi yang cepat, sehingga pengguna dapat melakukan tindakan yang tepat. Penggunaan sensor untuk mendeteksi polutan seperti PM_{2.5}, CO₂, dan NO₂ merupakan pendekatan yang semakin banyak diterapkan dalam penelitian ini (Alavi *et al.*, 2020). Pengembangan sistem deteksi kualitas udara berbasis IoT tidak hanya mempermudah proses pemantauan, tetapi juga berperan penting dalam meningkatkan kesadaran publik tentang pentingnya menjaga kualitas udara. Dengan adanya data yang akurat dan transparan, masyarakat dapat lebih proaktif dalam menjaga lingkungan sekitar. Hal ini juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya yang berkaitan dengan kesehatan dan kesejahteraan. Masalah kualitas udara di Indonesia, terutama di kota-kota besar, sangat relevan. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa kualitas udara di beberapa wilayah perkotaan seringkali melebihi ambang batas yang ditetapkan (KLHK, 2022). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan alat deteksi yang dapat menjangkau berbagai lapisan masyarakat guna meningkatkan kualitas kesehatan publik. Teknologi IoT menawarkan solusi inovatif untuk pemantauan kualitas udara secara real-time. Sensor berbasis IoT dapat mengumpulkan data tentang konsentrasi gas rumah kaca dan polutan lainnya secara terus-menerus, memungkinkan analisis yang lebih mendalam mengenai pengaruh aktivitas manusia terhadap kualitas udara (Zhan *et al.*, 2020). Dengan memanfaatkan jaringan sensor yang terdistribusi, informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dan mendukung kebijakan lingkungan yang lebih baik (Kahn *et al.*, 2019).

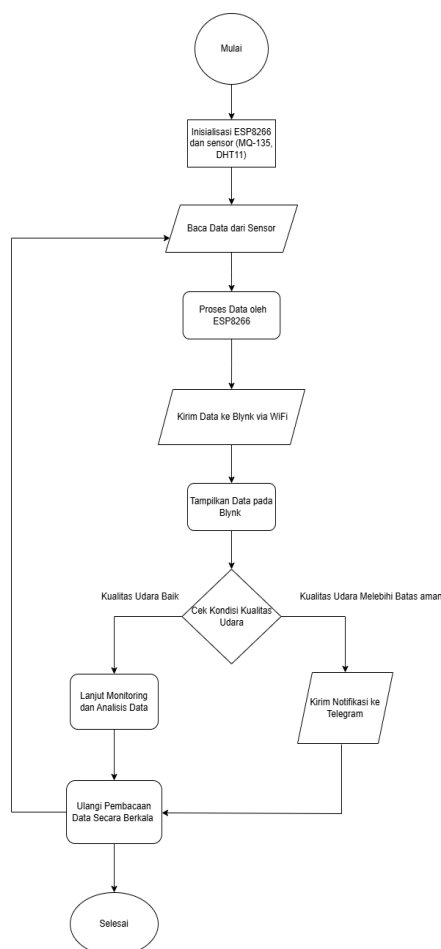
Penelitian oleh Hasyim, F., dan Suharjo, I. (2024) memberikan wawasan mengenai pengembangan sistem deteksi kualitas udara berbasis IoT, yang dapat diperluas dengan fitur notifikasi melalui Telegram. Peningkatan ini memungkinkan pengembangan bot yang dapat memberikan notifikasi secara otomatis kepada pengguna dan masyarakat lebih luas. Fitur ini tidak hanya memberikan manfaat lebih besar kepada pengguna, tetapi juga turut mendukung upaya peningkatan kesadaran dan kesehatan masyarakat terkait dengan kualitas udara. Terminal Tingkir merupakan fasilitas transportasi umum yang memiliki peran penting dalam mempermudah mobilitas masyarakat. Namun, aktivitas di terminal ini juga berdampak pada peningkatan polusi udara akibat emisi kendaraan, khususnya dari bus. Kualitas udara yang buruk dapat memengaruhi kesehatan penumpang, pegawai terminal, serta masyarakat sekitar. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara secara real-time menjadi hal yang sangat penting untuk mengidentifikasi serta mengendalikan sumber polusi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem deteksi kualitas udara berbasis IoT yang dapat digunakan untuk memantau polutan udara dan terintegrasi dengan aplikasi mobile, seperti Telegram, yang diharapkan dapat memberikan notifikasi langsung kepada pengguna. Dengan fitur notifikasi ini, pengguna akan segera menerima informasi mengenai perubahan kualitas udara dan dapat segera mengambil tindakan yang diperlukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pemantauan kualitas udara di Terminal Tingkir dan dapat diterapkan secara efektif dalam meningkatkan kualitas lingkungan di area tersebut.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi metode penelitian eksperimental dengan pendekatan pengembangan (*Research and Development*). Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mengumpulkan informasi terkait sensor udara, teknologi *Internet of Things* (IoT), serta teknologi pendukung lainnya yang relevan dengan topik penelitian ini. Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem, yang meliputi desain perangkat keras dan perangkat lunak, pemilihan komponen yang tepat, pembuatan diagram blok, serta perancangan antarmuka pengguna. Setelah itu, dilakukan pembuatan prototipe dengan merakit komponen-komponen yang telah dipilih menjadi sebuah sistem pemantauan kualitas udara yang siap diuji. Tahap terakhir adalah pengujian dan evaluasi, yang mencakup pengujian terhadap kinerja sistem yang telah dirakit, analisis data yang diperoleh, serta evaluasi hasil penelitian untuk menilai sejauh mana sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mikrokontroler *Arduino Uno* atau yang setara sebagai unit pengendali utama sistem. Sensor yang digunakan termasuk sensor *MQ-135* untuk mendeteksi berbagai gas seperti LPG, metana, alkohol, hidrogen, dan asap, serta sensor *DHT11* yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban. Modul *Wifi ESP8266* dipilih untuk menghubungkan sistem ke jaringan internet, memungkinkan data yang dikumpulkan dapat dipantau secara real-time. Sebagai sumber daya, digunakan baterai atau adaptor sesuai dengan kebutuhan sistem. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Arduino IDE* untuk pemrograman mikrokontroler dan platform *IoT Blynk* untuk visualisasi data yang dikumpulkan oleh sistem. Pada tahap perancangan sistem, algoritma yang digunakan akan menjelaskan langkah-langkah pengolahan data yang diperoleh dari sensor dan pengiriman data ke platform *IoT*. Selain itu, desain antarmuka pengguna juga dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memahami dan memantau kualitas udara yang terdeteksi oleh sistem. Diagram blok yang dihasilkan memberikan gambaran menyeluruh tentang cara kerja sistem, mulai dari pengambilan data oleh sensor hingga pengiriman data ke platform visualisasi, memastikan semua elemen sistem terintegrasi dengan baik dalam memantau kualitas udara secara efektif.



Gambar 1. Blok Diagram



Gambar 2. Flowchart

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan pemrograman mikrokontroler menggunakan *Arduino IDE* untuk membaca data dari sensor, memproses data yang diperoleh, dan mengirimkan data tersebut ke modul *Wi-Fi*. Selanjutnya, modul *ESP8266* dikonfigurasi untuk terhubung dengan jaringan *Wi-Fi* dan mengirimkan data ke platform *IoT*. Akun pada platform *IoT Blynk* dibuat untuk menyimpan dan mengelola data sensor yang terkumpul. Setelah sistem selesai diprogram dan dikonfigurasi, tahap berikutnya adalah pengujian sistem, yang dilakukan di Terminal Tingkir, Salatiga, selama enam hari dengan pengambilan sampel otomatis setiap satu menit secara terus-menerus selama 24 jam. Selama periode pengujian, log data pengukuran dicatat untuk dianalisis lebih lanjut. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif, dengan tujuan untuk mengetahui kualitas udara di lokasi pengujian serta mengevaluasi kinerja sistem dalam memantau dan mengirimkan data kualitas udara secara akurat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem sensor udara berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dapat memantau kualitas udara secara real-time. Prototipe sistem yang dibangun terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler *Arduino Uno*, sensor *MQ-135*, sensor *DHT11*, dan modul *Wi-Fi ESP8266*. Setiap tahapan penelitian memberikan hasil yang signifikan sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Pengumpulan literatur terkait dengan sensor udara, teknologi *IoT*, dan aplikasi pemantauan kualitas udara memberikan dasar teori yang kuat. Berdasarkan literatur, sensor *MQ-135* terbukti efektif dalam mendeteksi berbagai polutan udara seperti CO_2 , amonia, dan gas berbahaya lainnya.

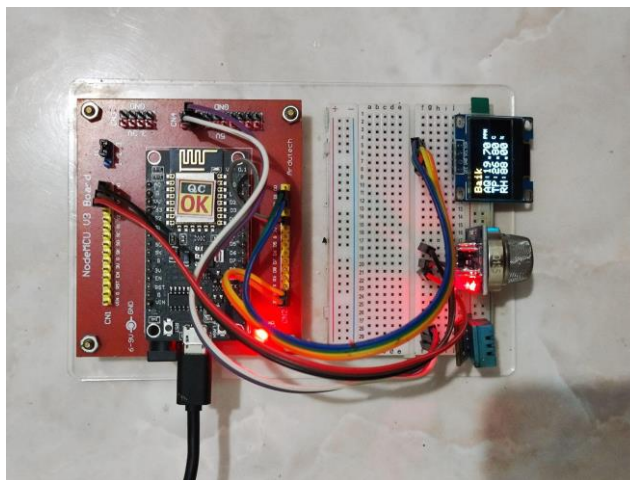
2) Perancangan Sistem

Sistem dirancang dengan diagram blok yang jelas, menggambarkan alur data dari sensor menuju mikrokontroler dan kemudian ke platform *IoT*. Antarmuka pengguna dirancang agar data kualitas udara dapat ditampilkan secara visual dan mudah dipahami. Komponen utama yang digunakan dalam sistem ini antara lain:

- a) Sensor *IoT*: Sensor *MQ-135* untuk mendeteksi polutan udara, serta sensor *DHT11* untuk mengukur kelembaban dan suhu udara.
- b) Mikrokontroler: *ESP8266* berfungsi sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor untuk mengolah data. *ESP8266* memiliki kapasitas pemrosesan yang cukup untuk mengelola data dari sensor dan melakukan operasi dasar.
- c) Modul *Wi-Fi ESP8266*: Dengan modul *Wi-Fi* terintegrasi, mikrokontroler ini mengirimkan data sensor secara nirkabel ke server *Blynk*.
- d) Platform *Blynk*: Platform ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan analisis data. Data yang dikumpulkan oleh *ESP8266* dapat dikirimkan ke platform *Blynk* untuk visualisasi dan analisis data secara real-time.

3) Pembuatan Prototipe

Prototipe sistem berhasil dirakit dengan semua komponen terintegrasi dengan baik. Pengujian awal menunjukkan bahwa semua sensor berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



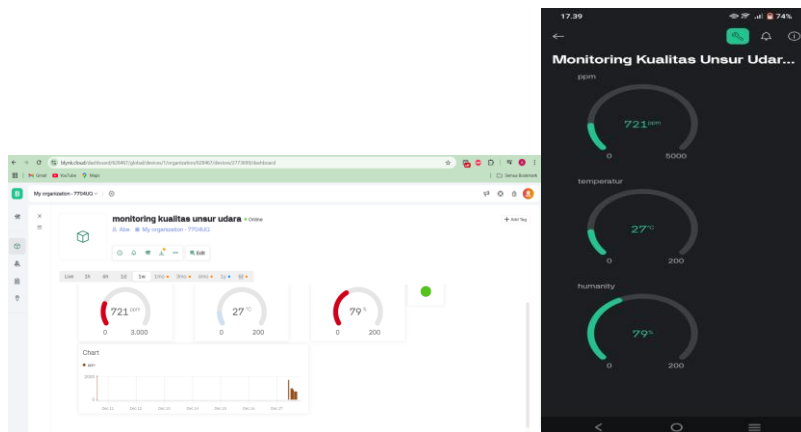
Gambar 3. Prototipe

4) Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dilakukan dengan cara memberi polusi secara sengaja serta memantau kelembaban dan suhu melalui internet di lokasi pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *MQ-135* memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mendeteksi gas berbahaya, sementara sensor *DHT11* memberikan data suhu dan kelembaban yang konsisten sesuai dengan pengukuran yang dilakukan.

Hasil pengujian ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dalam memantau kualitas udara secara real-time dan memberikan data yang akurat tentang kondisi lingkungan di lokasi pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara berbasis *IoT* ini berfungsi dengan baik dalam kondisi nyata. Sensor *MQ-135* berhasil mendeteksi gas LPG, metana, alkohol, hidrogen, dan asap dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil, meskipun variasi pembacaan dapat terjadi pada kondisi lingkungan ekstrem seperti suhu tinggi atau rendah.

Antarmuka pengguna yang dikembangkan pada platform *Blynk* mampu menampilkan data secara real-time dengan grafik yang informatif, memudahkan pengguna dalam memahami kondisi kualitas udara di lokasi pengujian. Modul *Wi-Fi ESP8266* berhasil menghubungkan sistem ke jaringan internet, memungkinkan pengiriman data secara langsung ke platform *IoT* untuk pemantauan jarak jauh, yang menunjukkan potensi besar bagi aplikasi pemantauan lingkungan di masyarakat.



Gambar 4. Aplikasi Blynk

Salah satu fitur tambahan yang berhasil dikembangkan adalah sistem notifikasi yang mengirimkan informasi kepada pengguna ketika kualitas udara mencapai ambang batas tertentu. Pengguna akan menerima notifikasi secara real-time yang diperbarui setiap satu menit. Fitur notifikasi ini diimplementasikan menggunakan bot Telegram, yang memberi tahu pengguna ketika nilai polutan berada di atas 600 ppm, sehingga meningkatkan respons terhadap kondisi yang memerlukan kewaspadaan. Ketika nilai ppm mencapai lebih dari 1300, notifikasi yang dikirimkan akan menyebutkan kadar polutan yang berbahaya. Fitur ini memberikan informasi langsung mengenai kualitas udara yang dapat membahayakan kesehatan, memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan preventif, seperti menghindari aktivitas luar ruangan atau menggunakan masker. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fitur notifikasi melalui Telegram berjalan dengan baik, dengan sensor mendeteksi peningkatan polutan dan berhasil mengirimkan notifikasi kepada pengguna.



Gambar 5. Notifikasi Telegram

Analisis statistik deskriptif terhadap data pengujian yang diambil selama enam hari di Terminal Tingkir Salatiga menunjukkan bahwa kualitas udara di lokasi pengujian umumnya berada dalam batas aman bagi kesehatan manusia. Namun, terdapat beberapa titik waktu di mana konsentrasi polutan meningkat, yang menandakan perlunya tindakan lebih lanjut untuk mengendalikan polusi udara.



Gambar 6. Diagram Data

Dari sampel yang diperoleh, analisis regresi linear sederhana menghasilkan persamaan $kelembaban = 75,09 - 0,025 \times PPM$ dengan nilai R-squared sebesar 0,034, yang menunjukkan bahwa konsentrasi PPM hanya menjelaskan 3,4% dari variasi kelembaban, sehingga pengaruhnya terhadap kelembaban terbilang lemah. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi PPM tidak terlalu mempengaruhi kelembaban udara secara signifikan.

3.2 Pembahasan

Hasil pengujian sistem pemantauan kualitas udara berbasis *IoT* ini menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi nyata. Penggunaan sensor *MQ-135* berhasil mendeteksi polutan seperti gas LPG, metana, alkohol, hidrogen, dan asap dengan akurasi yang relatif tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan Abbas *et al.* (2020), yang menyatakan bahwa sensor *MQ-135* dapat secara efektif digunakan untuk memonitor kualitas udara, khususnya dalam mendeteksi gas berbahaya seperti CO2 dan ammonia. Namun, pengujian juga mengungkapkan bahwa variasi pembacaan dapat terjadi pada kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti suhu yang sangat tinggi atau rendah, yang mempengaruhi sensitivitas sensor. Fenomena ini mengingatkan pada temuan dalam studi Zhang *et al.* (2021), yang menunjukkan bahwa sensor kualitas udara berbiaya rendah, seperti *MQ-135*, memiliki akurasi yang lebih rendah pada kondisi ekstrem.

Sistem antarmuka pengguna yang dikembangkan di platform *Blynk* mampu menampilkan data kualitas udara secara real-time dengan grafik yang informatif, memudahkan pengguna dalam memahami kondisi udara di lokasi tertentu. Hal ini mendukung temuan yang disebutkan oleh He *et al.* (2020), yang menyatakan bahwa antarmuka berbasis aplikasi mobile dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang kualitas lingkungan mereka. Modul *Wi-Fi ESP8266* yang digunakan dalam sistem ini berhasil menghubungkan perangkat ke jaringan internet, memungkinkan pengiriman data secara langsung ke platform *IoT* untuk pemantauan jarak jauh. Koneksi internet yang stabil ini menunjukkan potensi besar bagi aplikasi pemantauan kualitas udara secara real-time, yang sejalan dengan penelitian Kahn dan Hsu (2019) mengenai peran *IoT* dalam memantau kualitas udara secara lebih luas dan efisien. Pengembangan fitur notifikasi menggunakan bot Telegram menjadi salah satu bagian penting dalam penelitian ini. Notifikasi yang dikirimkan secara real-time kepada pengguna saat kualitas udara mencapai ambang batas tertentu (misalnya, ketika nilai polutan berada di atas 600 ppm) memberikan respons cepat yang dapat meningkatkan kewaspadaan pengguna. Fitur ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian Hasyim dan Suharjo (2024), yang mengembangkan sistem notifikasi berbasis *IoT* untuk memantau kualitas udara dan memberikan peringatan kepada pengguna saat terjadi polusi udara berbahaya. Selain itu, fitur ini berhasil memberikan pemberitahuan terkait kualitas udara yang membahayakan kesehatan, mendorong tindakan preventif seperti penggunaan masker atau menghindari aktivitas luar ruangan. Implementasi bot Telegram ini juga mendukung temuan Kumar *et al.* (2023), yang menunjukkan bahwa notifikasi berbasis mobile dapat mengubah perilaku masyarakat terhadap masalah lingkungan, khususnya kualitas udara.

Dalam analisis statistik deskriptif yang dilakukan selama pengujian di Terminal Tingkir Salatiga, kualitas udara sebagian besar berada dalam batas aman bagi kesehatan manusia, tetapi terdapat beberapa waktu di mana konsentrasi polutan meningkat. Hasil ini sejalan dengan laporan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2022), yang menunjukkan bahwa banyak daerah perkotaan di Indonesia, termasuk Salatiga, sering mengalami kualitas udara yang tidak memenuhi standar kesehatan. Hal ini menandakan perlunya pengendalian polusi yang lebih baik, terutama di area dengan aktivitas transportasi tinggi, seperti di terminal. Hasil analisis regresi linear sederhana menunjukkan hubungan antara konsentrasi PPM dan kelembaban, meskipun pengaruhnya relatif lemah, dengan nilai R-squared sebesar 0,034. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat hubungan antara kedua variabel, konsentrasi PPM tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kelembaban udara. Hasil ini mencerminkan temuan dalam studi Alavi *et al.* (2020), yang mencatat bahwa faktor lingkungan lainnya, seperti suhu dan tekanan udara, juga memengaruhi kelembaban, meskipun konsentrasi polutan tetap berperan dalam mempengaruhi kualitas udara secara keseluruhan. Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *IoT* yang efektif untuk memantau kualitas udara secara real-time dan memberikan informasi yang berguna bagi masyarakat. Penerapan fitur notifikasi melalui bot Telegram, pengolahan data secara efisien, dan penggunaan sensor dengan harga terjangkau menunjukkan potensi besar untuk mengimplementasikan sistem ini dalam skala yang lebih luas. Meskipun demikian, pengembangan lebih lanjut masih diperlukan, terutama dalam hal peningkatan akurasi sensor pada kondisi ekstrem dan integrasi sistem dengan kebijakan pemerintah untuk pengendalian polusi udara yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dikembangkan berhasil memenuhi tujuan penelitian. Sistem ini tidak hanya efektif dalam mendeteksi polutan, suhu, dan kelembaban, tetapi juga mudah digunakan oleh masyarakat umum melalui antarmuka pengguna yang intuitif. Selain itu, sistem ini mampu menyampaikan informasi dengan lebih cepat, terutama ketika kualitas udara mengalami peningkatan yang melebihi batas aman, dengan fitur notifikasi yang diintegrasikan melalui *Telegram*. Fitur ini memberikan pemberitahuan real-time kepada pengguna, memungkinkan mereka untuk mengambil

tindakan preventif yang diperlukan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi lingkungan dan sistem tertanam berbasis *IoT*. Dengan mengintegrasikan sensor *MQ-135* dan *DHT11*, serta memanfaatkan mikrokontroler *ESP8266* yang terhubung dengan platform *IoT Blynk* dan *Telegram*, penelitian ini menegaskan bahwa *IoT* dapat diimplementasikan dalam sistem pemantauan lingkungan yang responsif dan adaptif. Temuan ini memperkuat teori bahwa teknologi pemantauan waktu nyata dapat berfungsi sebagai alat bantu yang efektif dalam mitigasi dampak polusi udara terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, terdapat beberapa arah yang dapat diambil untuk meningkatkan kinerja sistem ini. Salah satunya adalah pengembangan fitur interaktif untuk masyarakat, seperti chat bot di *Telegram* atau aplikasi mobile yang menyertakan saran kesehatan berdasarkan kondisi udara. Fitur ini dapat mendorong keterlibatan masyarakat dalam menjaga kualitas lingkungan. Rekomendasi lainnya adalah untuk mengkombinasikan data kualitas udara dengan data aktivitas manusia, sehingga dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam mengenai hubungan antara aktivitas kendaraan di terminal dengan fluktuasi polutan. Pendekatan ini akan membantu memahami lebih detail bagaimana aktivitas manusia mempengaruhi kualitas udara dan dapat menjadi dasar untuk strategi pengendalian polusi yang lebih efektif.

5. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih untuk ibu guru sudah menjadi orangtua yang baik terimakasih sudah mau menunggu dan selalu pengertian terhadap anak laki-laki mu ini mohon maaf tidak bisa melihat anak laki laki ini wisuda semoga di surga ibu guru dan bos rambut putih bisa melihat kesuksesan anak laki-laki kalian ini. terimakasih juga untuk saudara perempuan kakak uyen, kakak jen, kakak anne dan sanci karibo makasih yah sudah mau mensupport saudara laki laki pemalas ini. Makasih untuk pegawai terminal tingkir yang sudah mengizinkan untuk melakukan pengujian di terminal. Makasih juga untuk saudara tak sedara kontrakan Madel yang sudah membuat saya seperti di pulau seram. terimakasih untuk saudara putri atas segala kebaikan dan support yang diberikan pokoknya makasih banyak yah. Terimakasih juga untuk penghuni kost frontal dan untuk teman teman yang selalu menghibur dengan info biliar makasih banyak yah, info biliar dari kalian sangat membantu menghibur pikiran dari pusingnya TTU ini. semoga kita semua diberkati sang pencipta amin.

6. Daftar Pustaka

- Abbas, F. N., Saadoon, I. M., Abdalrdha, Z. K., & Abud, E. N. (2020). Capable of gas sensor MQ-135 to monitor the air quality with arduino uno. *Int. J. Eng. Res. Technol*, 13(10), 2955-2959.
- Anugerah, R., & Sutabri, T. (2025). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan *IoT* dengan Metode Prototype. *Modem: Jurnal Informatika dan Sains Teknologi*, 3(1), 01-05. <https://doi.org/10.62951/modem.v3i1.304>.
- Budianto, H., & Sumanto, B. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, 5(1), 9-17. <https://doi.org/10.22146/juliet.v5i1.87423>.
- Change, I. P. O. C. (2007). Climate change 2007: the physical science basis. *Agenda*, 6(07), 333.
- Hasyim, F., & Suharjo, I. (2024). Sistem Notifikasi Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Produksi Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Esp8266. *Pixel: Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, 17(1), 149-158. <https://doi.org/10.51903/pixel.v17i1.1999>.

- Kang, Y., Aye, L., Ngo, T. D., & Zhou, J. (2022). Performance evaluation of low-cost air quality sensors: A review. *Science of The Total Environment*, 818, 151769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151769>.
- Liu, X. C., Li, W. Q., Wang, Y. R., Zhou, G. N., Wang, Y. X., He, C. S., ... & Mu, Y. (2019). Cathode-introduced atomic H* for Fe (II)-complex regeneration to effective electro-Fenton process at a natural pH. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 6927-6936.
- Seppewali, A., Dwiputra, F. F., & Mulyo, W. H. (2024). Implementasi Aplikasi Mobile Knowledge Management System pada PT. Pesona Edukasi menggunakan Pendekatan Rapid Application Development. *Pixel: Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, 17(1), 134-148. <https://doi.org/10.51903/pixel.v17i1.1990>.
- Sharmila, F. M., Suryaganesh, P., Abishek, M., & Benny, U. (2019, March). IoT based smart window using sensor Dht11. In *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)* (pp. 782-784). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728426>.
- Sutikno, T., Purnama, H. S., Pamungkas, A., Fadlil, A., Alsofyani, I. M., & Jopri, M. H. (2021). Internet of things-based photovoltaics parameter monitoring system using NodeMCU ESP8266. *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708)*, 11(6).
- World Health Organization. (2006). *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.
- Yeo, S. S., & Park, G. Y. (2020). Accuracy verification of spatio-temporal and kinematic parameters for gait using inertial measurement unit system. *Sensors*, 20(5), 1343.