

Sistem Monitoring Kualitas Udara Ruang Kelas Berbasis Internet of Things

Lionel Supit¹, Daniel Supit², Zwingly Pongoh³, Prayer Lumankun⁴, Chrisvabio Tumanduk⁵

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado, Minahasa, Indonesia

Author Email: lionelcandy@gmail.com¹, danielsupit06@gmail.com², zwinglypongoh@gmail.com², lumankunpray@gmail.com³, chrisvabiotumanduk@gmail.com⁵

Abstrak. Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memungkinkan sistem pemantauan lingkungan dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Kualitas udara di dalam ruang kelas yang tidak terkontrol dapat berdampak pada kenyamanan belajar dan kesehatan pengguna ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas udara berbasis *IoT* menggunakan mikrokontroler *ESP8266*, sensor *DHT22* untuk suhu dan kelembaban, serta sensor *MQ-135* untuk mendeteksi polutan udara. Metode penelitian menggunakan pendekatan *design and implementation* yang meliputi identifikasi masalah, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian fungsional. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan secara *real-time* melalui LCD 16x2 dan serial monitor, serta dikirimkan ke platform *Blynk* berbasis *cloud*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca suhu pada rentang 26–32°C, kelembaban pada rentang 60–80%, serta mendeteksi perubahan nilai kualitas udara (nilai analog sensor *MQ-135* berkisar antara 180–420) secara konsisten. Sistem yang dikembangkan terbukti berfungsi sebagai solusi pemantauan kondisi udara ruang kelas secara efektif dan efisien.

Kata kunci: Internet of Things, ESP8266, Monitoring Udara, DHT22, MQ-135

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara di dalam ruang kelas merupakan salah satu faktor penting yang secara langsung mempengaruhi kenyamanan dan efektivitas proses pembelajaran. Kondisi suhu yang tinggi, kelembaban yang tidak stabil, serta keberadaan polutan udara dapat menurunkan konsentrasi mahasiswa dan berpotensi berdampak pada kesehatan [1]. Penelitian yang dilakukan oleh Sundell [2] menunjukkan bahwa kualitas udara dalam ruangan yang buruk berkorelasi positif dengan penurunan produktivitas pengguna ruangan, termasuk dalam konteks pendidikan. Namun, pada kenyataannya, sebagian besar ruang kelas masih belum dilengkapi dengan sistem pemantauan udara yang terintegrasi, sehingga kondisi lingkungan tidak dapat dipantau secara akurat dan *real-time* [3].

Perkembangan teknologi digital, khususnya *Internet of Things (IoT)*, telah mendorong transformasi dalam berbagai bidang, termasuk sistem pemantauan lingkungan. *IoT* memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan, mengirim, dan memproses data secara *real-time* [4]. Atzori et al. [5] mendefinisikan *IoT* sebagai paradigma teknologi yang menghubungkan objek fisik ke jaringan digital melalui sensor dan aktuator sehingga memungkinkan interaksi cerdas antara mesin dan lingkungannya. Dengan kemampuan tersebut, *IoT* menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi keterbatasan sistem monitoring konvensional yang masih bersifat manual dan tidak berkelanjutan [6].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring berbasis *IoT* untuk mengamati kondisi lingkungan. Raharjo et al. [7] mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban menggunakan *ESP8266* berbasis *IoT* yang mampu menampilkan data secara *real-time*. Sadali et al. [8] merancang sistem monitoring kualitas udara menggunakan sensor *MQ-135* berbasis *IoT* dan memperoleh hasil yang baik dalam mendeteksi polutan udara. Jauhari et al. [9] mengimplementasikan *IoT* untuk monitoring lingkungan berbasis mikrokontroler di gedung perkantoran. Akan tetapi, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada parameter tertentu saja dan belum mengintegrasikan pemantauan kualitas udara secara menyeluruh, khususnya dalam konteks ruang kelas [10].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas udara ruang kelas berbasis *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler *ESP8266*. Sistem ini dilengkapi dengan sensor *DHT22* untuk mengukur suhu dan kelembaban serta sensor *MQ-135* untuk mendeteksi kualitas udara [11]. Data yang diperoleh diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara *real-time* sehingga dapat memberikan gambaran kondisi lingkungan secara aktual. Kontribusi utama penelitian ini

adalah pengembangan sistem monitoring yang mampu mengintegrasikan parameter suhu, kelembaban, dan kualitas udara dalam satu sistem berbasis IoT yang sederhana namun fungsional, sebagai solusi awal peningkatan kesadaran terhadap pentingnya kualitas udara di ruang kelas.

2. METODOLOGI

2.1 Internet Of Things (IOT)

Internet of Things (IoT) merupakan paradigma teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling terhubung melalui jaringan internet dan bertukar data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung[3]. Dalam implementasinya, *IoT* mengintegrasikan sensor, aktuator, serta sistem komunikasi untuk mengumpulkan dan mengirimkan data dari lingkungan ke sistem pengolahan data.

Pada penelitian ini, konsep *IoT* digunakan sebagai dasar dalam pengembangan sistem monitoring kualitas udara. Data yang diperoleh dari sensor akan diproses oleh mikrokontroler dan dapat ditampilkan secara *real-time*, sehingga memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara lebih efisien. Dengan pendekatan ini, sistem yang dibangun tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

2.2 ESP8266

ESP8266 merupakan mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul *WiFi* terintegrasi, sehingga sangat sesuai digunakan dalam pengembangan sistem berbasis *IoT*[7]. Perangkat ini mampu melakukan koneksi langsung ke jaringan internet tanpa memerlukan modul tambahan, serta memiliki kemampuan pemrosesan data yang cukup untuk menangani berbagai aplikasi monitoring sederhana.

Dalam penelitian ini, *ESP8266* berperan sebagai pusat pengendali sistem yang bertugas membaca data dari sensor, memproses informasi, serta mengirimkan data tersebut untuk ditampilkan kepada pengguna. Pemilihan *ESP8266* didasarkan pada efisiensi biaya, kemudahan penggunaan, serta kompatibilitasnya dengan berbagai platform pengembangan seperti *Arduino IDE*.

2.3 Sensor DHT22

Sensor *DHT22* merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan *DHT11* serta mampu memberikan *output* dalam bentuk data digital yang mudah diproses oleh mikrokontroler[13].

Pada sistem yang dikembangkan, sensor *DHT22* berfungsi sebagai sumber utama data lingkungan terkait suhu dan kelembaban di dalam ruang kelas. Data yang dihasilkan akan digunakan untuk memberikan gambaran kondisi termal ruangan secara *real-time*. Keberadaan parameter ini penting karena suhu dan kelembaban merupakan faktor utama yang mempengaruhi kenyamanan pengguna dalam suatu ruangan.

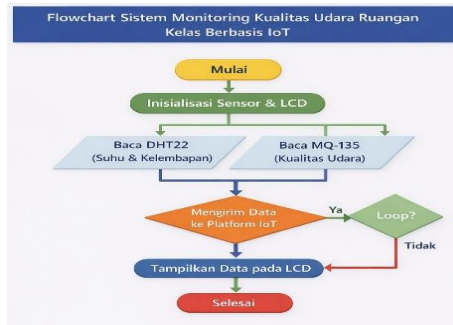
2.4 Sensor MQ-135

Sensor *MQ-135* merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi kualitas udara dengan mengukur konsentrasi gas tertentu seperti karbon dioksida (CO_2), amonia, asap, dan polutan udara lainnya[14]. Sensor ini menghasilkan output berupa sinyal analog yang dapat diolah oleh mikrokontroler untuk merepresentasikan tingkat kualitas udara.

Dalam penelitian ini, sensor *MQ-135* digunakan untuk melengkapi sistem monitoring dengan informasi terkait tingkat polusi udara di dalam ruang kelas. Data yang diperoleh dari sensor ini memberikan gambaran tambahan mengenai kondisi lingkungan yang tidak dapat diukur hanya melalui suhu dan kelembaban. Dengan demikian, integrasi sensor *MQ-135* memungkinkan sistem untuk melakukan pemantauan kualitas udara secara lebih komprehensif.

2.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *design and implementation* (rancang bangun) dalam mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things*. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk penelitian yang bertujuan menghasilkan prototipe sistem fungsional sebagai solusi atas permasalahan nyata [17]. Tahapan penelitian disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

2.5.1 Identifikasi Masalah

Tahap awal penelitian dimulai dengan identifikasi kebutuhan sistem berdasarkan kondisi lingkungan ruang kelas. Dilakukan analisis terhadap permasalahan yang ada, yaitu belum tersedianya sistem monitoring kualitas udara yang mampu memberikan informasi secara *real-time*. Hasil tahap ini berupa spesifikasi sistem, meliputi pemilihan parameter (suhu, kelembaban, dan kualitas udara) serta penentuan komponen yang digunakan.

2.5.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Pada tahap ini dilakukan perancangan rangkaian sistem menggunakan mikrokontroler *ESP8266* yang dihubungkan dengan sensor *DHT22* dan *MQ-135*. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan koneksi antar komponen agar sistem bekerja secara optimal. Proses ini meliputi penyusunan rangkaian pada *breadboard*, pengkabelan antar perangkat, serta pengujian awal untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik. Spesifikasi komponen yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Sistem

No.	Komponen	Spesifikasi/Fungsi
1	Mikrokontroler ESP8266 (NodeMCU)	Pusat pengendali, WiFi terintegrasi
2	Sensor DHT22	Suhu ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) & Kelembaban ($\pm 2\%$)
3	Sensor MQ-135	Deteksi gas/polutan udara (analog)
4	LCD 16x2 + Modul I2C	Tampilan output lokal
5	Breadboard & Kabel Jumper	Media perakitan komponen
6	Sumber daya USB 5V	Catu daya sistem

2.5.3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Tahap perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program menggunakan *Arduino IDE*. Program dirancang untuk membaca data dari sensor, mengolah data, menampilkan hasil pembacaan secara *real-time*, serta mengirimkan data ke platform *Blynk*. Library yang digunakan meliputi *DHT.h* untuk sensor DHT22, *LiquidCrystal_I2C.h* untuk modul LCD, *ESP8266WiFi.h* untuk koneksi jaringan, dan *BlynkSimpleEsp8266.h* untuk integrasi platform Blynk. Pengujian logika program dilakukan secara bertahap hingga sistem berjalan stabil.

2.5.4 Implementasi dan Pengujian Sistem

Pada tahap implementasi, seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh, kemudian diujikan dalam kondisi nyata di lingkungan ruang kelas. Pengujian dilakukan

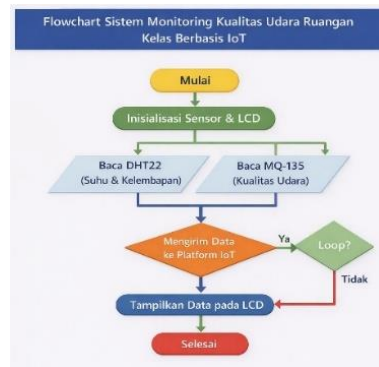
dengan mengamati kemampuan sensor dalam membaca data suhu, kelembaban, dan kualitas udara, serta kestabilan sistem dalam menampilkan data secara *real-time*. Pengujian fungsional dilakukan selama 30 menit dalam kondisi ruangan normal (jendela tertutup, 15 mahasiswa di dalam ruangan).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Perancangan Sistem

3.1.1 Diagram Alir (Flowchart) Sistem

Gambar 2 menunjukkan alur kerja sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang dirancang dalam penelitian ini. Proses dimulai dari tahap inisialisasi sistem, di mana mikrokontroler mengaktifkan seluruh komponen utama yaitu sensor DHT22, sensor MQ-135, dan modul LCD sebagai media *output*. Setelah inisialisasi selesai, sistem secara simultan melakukan pembacaan data dari kedua sensor. Selanjutnya, data hasil pembacaan dikirimkan ke platform IoT Blynk untuk dipantau secara *real-time* dari jarak jauh, sekaligus ditampilkan pada LCD sebagai *output* lokal. Sistem bekerja dalam mekanisme perulangan (*loop*) yang memastikan monitoring berlangsung secara kontinu dan berkelanjutan.



Gambar 2. Flowchart Sistem

3.1.2 Diagram Rangkaian Sistem

Gambar 3 menunjukkan diagram rangkaian sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Mikrokontroler ESP8266 berperan sebagai pusat pengendali yang menghubungkan seluruh komponen. Sensor DHT22 terhubung ke pin digital D4 ESP8266 untuk mengirimkan data suhu dan kelembaban dalam bentuk sinyal digital. Sensor MQ-135 terhubung ke pin analog A0 untuk memberikan data kualitas udara berdasarkan perubahan nilai tegangan. Modul LCD 16x2 dengan antarmuka I2C terhubung ke pin SDA (D2) dan SCL (D1) ESP8266 sebagai media tampilan lokal. Penggunaan modul I2C bertujuan menghemat penggunaan pin pada mikrokontroler serta menyederhanakan koneksi [11].



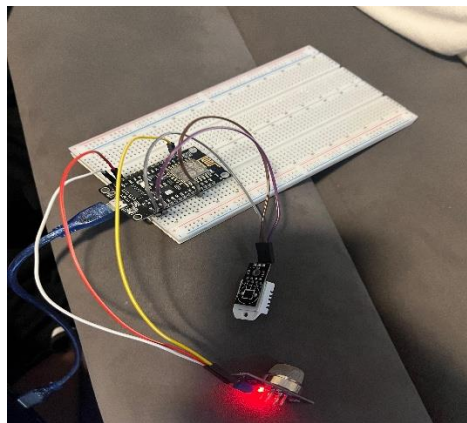
Gambar 3. Gambar Diagram Rangkaian

3.1.3 Perancangan Jaringan dan Koneksi IoT

Perancangan jaringan dan koneksi IoT pada penelitian ini memungkinkan sistem melakukan pengiriman data secara *real-time* dari perangkat ke platform monitoring berbasis internet. Sistem memanfaatkan modul WiFi terintegrasi pada mikrokontroler ESP8266. ESP8266 dikonfigurasi untuk terhubung ke jaringan WiFi melalui proses autentikasi menggunakan SSID dan *password*. Setelah koneksi berhasil, perangkat terhubung ke platform Blynk yang berfungsi sebagai media monitoring dan visualisasi data. Data dari sensor DHT22 dan MQ-135 dikirimkan ke server Blynk menggunakan protokol MQTT [16], kemudian ditampilkan dalam bentuk nilai numerik dan grafik pada dashboard aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat memantau kondisi ruang kelas melalui *smartphone* secara *real-time* [15].

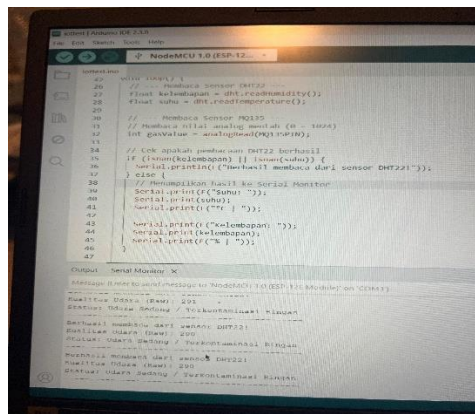
3.2 Hasil Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi, seluruh komponen yang telah dirancang diintegrasikan menjadi sebuah *prototype* sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi fisik perangkat yang telah dirakit.



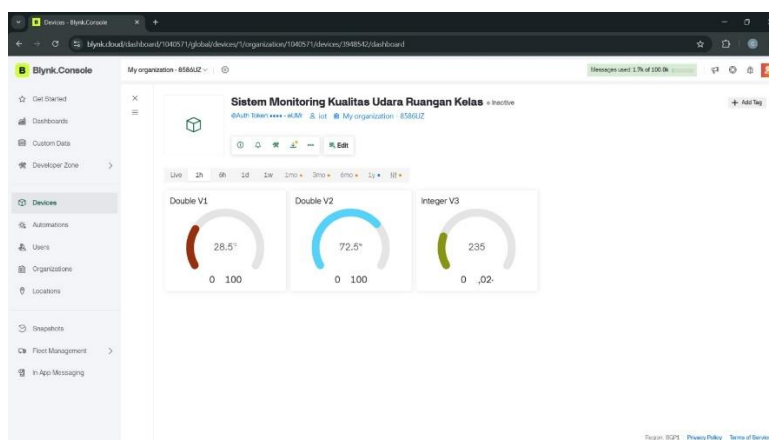
Gambar 4. Prototype System

Proses implementasi diawali dengan perangkaian komponen pada *breadboard* menggunakan kabel jumper. ESP8266 dihubungkan dengan sensor DHT22 melalui pin digital D4 untuk memperoleh data suhu dan kelembaban, sedangkan sensor MQ-135 dihubungkan ke pin analog A0 untuk membaca nilai kualitas udara. Modul LCD 16x2 dikoneksikan menggunakan antarmuka I2C untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor secara *real-time*. Gambar 5 menunjukkan tampilan data pada serial monitor Arduino IDE selama sistem beroperasi.



Gambar 5. Tampilan Data Pada Serial Monitor

Gambar 6 menunjukkan tampilan data pada platform Blynk melalui *smartphone*, memperlihatkan nilai suhu, kelembaban, dan kualitas udara yang ditransmisikan secara *real-time* melalui jaringan WiFi.



Gambar 6. Dashboard Monitor Platform Blynk

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai perancangan. Sensor DHT22 berhasil menampilkan nilai suhu dan kelembaban secara stabil dan konsisten. Sensor MQ-135 menunjukkan perubahan nilai yang merepresentasikan kondisi kualitas udara di lingkungan sekitar. Data tersebut ditampilkan pada LCD 16x2 dalam bentuk informasi yang mudah dibaca pengguna, memungkinkan pemantauan kondisi udara secara langsung.

3.3 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh komponen yang telah diintegrasikan dapat bekerja sesuai fungsi yang dirancang. Pengujian difokuskan pada tiga aspek utama: akurasi pembacaan sensor, kestabilan sistem, dan kemampuan sistem menampilkan data secara *real-time*. Pengujian dilakukan selama 30 menit dalam kondisi ruangan normal (jendela tertutup, 15 mahasiswa). Hasil pembacaan sensor DHT22 dan MQ-135 selama pengujian disajikan pada Tabel 2.

Penentuan kategori kondisi udara pada Tabel 2 didasarkan pada nilai analog sensor MQ-135 dengan pembagian sebagai berikut: nilai < 200 dikategorikan Baik, $200-299$ dikategorikan Cukup, $300-399$ dikategorikan Kurang, dan ≥ 400 dikategorikan Buruk. Pembagian ini mengacu pada karakteristik sensor MQ-135 [14] yang dikombinasikan dengan pedoman kualitas udara dalam ruangan

Tabel 2. Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Selama 30 Menit

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Nilai MQ-135 (analog)	Kondisi Udara
0	26,4	72	185	Baik
5	27,1	74	210	Baik
10	28,3	76	265	Cukup
15	29,0	78	310	Cukup
20	30,2	79	355	Kurang
25	31,1	80	390	Kurang
30	31,8	80	420	Buruk

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian menunjukkan tren peningkatan nilai suhu dari 26,4°C menjadi 31,8°C seiring bertambahnya waktu dan kepadatan ruangan. Kelembaban meningkat dari 72% menjadi 80%, mendekati batas ambang kenyamanan. Nilai analog sensor MQ-135 meningkat dari 185 (kondisi udara baik) menjadi 420 (kondisi udara buruk), mengindikasikan akumulasi CO₂ dan polutan lain akibat aktivitas pernapasan. Pengujian juga dilakukan pada modul LCD 16x2.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah mampu menjalankan fungsi dasar monitoring kualitas udara dengan baik. Mikrokontroler ESP8266 berhasil membaca data dari kedua sensor secara

bersamaan dan memprosesnya tanpa gangguan yang signifikan. Sistem bekerja secara kontinu dengan mekanisme perulangan, sehingga data yang ditampilkan selalu diperbarui sesuai kondisi lingkungan terkini.

3.4 Diskusi

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, dapat diketahui bahwa sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsi utamanya, yaitu membaca dan menampilkan data kondisi lingkungan secara *real-time*. Integrasi antara mikrokontroler ESP8266 dengan sensor DHT22 dan MQ-135 menunjukkan kinerja yang stabil, di mana data yang dihasilkan dapat diperoleh secara kontinu tanpa gangguan yang signifikan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Raharjo et al. [7] yang mengonfirmasi keandalan ESP8266 sebagai platform IoT untuk monitoring lingkungan.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa dalam ruangan tertutup dengan 15 mahasiswa selama 30 menit, suhu meningkat rata-rata 0,18°C/menit dan nilai MQ-135 meningkat rata-rata 7,83 poin/menit. Tren ini mengindikasikan bahwa tanpa sistem ventilasi yang memadai, kualitas udara ruang kelas cenderung memburuk secara gradual. Temuan ini sejalan dengan Sundell [2] yang menyatakan bahwa kepadatan penghuni ruangan berkorelasi langsung dengan penurunan kualitas udara dalam ruangan.

Dari sisi sistem secara keseluruhan, penggunaan ESP8266 sebagai mikrokontroler utama memberikan kemudahan integrasi perangkat serta potensi pengembangan ke arah sistem berbasis IoT. Hal ini sejalan dengan temuan Kodali dan Mandal [12] yang menegaskan efisiensi ESP8266 dalam aplikasi monitoring lingkungan. Penggunaan platform Blynk memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui *smartphone*, menjadikan sistem lebih praktis dibandingkan sistem monitoring lokal konvensional [15].

Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini. Pertama, belum optimalnya tampilan pada LCD dikarenakan konfigurasi alamat I2C yang masih memerlukan penyesuaian lebih lanjut. Kedua, sensor MQ-135 menghasilkan data berupa nilai analog yang memerlukan kalibrasi dan konversi lebih lanjut untuk mendapatkan nilai konsentrasi gas yang akurat dalam satuan ppm. Ketiga, integrasi dengan platform Blynk masih memerlukan koneksi internet yang stabil. Pengembangan ke depan dapat mencakup penambahan fitur notifikasi otomatis ketika kualitas udara melewati ambang batas tertentu, serta peningkatan akurasi pembacaan sensor melalui proses kalibrasi yang lebih terstandar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler ESP8266, sensor DHT22, dan sensor MQ-135 telah berhasil dirancang, diimplementasikan, dan diuji secara fungsional. Sistem mampu membaca parameter suhu (26–32°C), kelembaban (60–80%), dan kualitas udara (nilai analog MQ-135: 180–420) secara *real-time* dengan hasil yang stabil dan konsisten. Hasil pengujian selama 30 menit menunjukkan tren peningkatan suhu dan penurunan kualitas udara yang signifikan pada ruangan tertutup dengan kepadatan mahasiswa, mengonfirmasi kebutuhan nyata akan sistem monitoring udara di ruang kelas.

Integrasi antar komponen perangkat keras dan perangkat lunak telah berjalan dengan baik, sehingga sistem dapat beroperasi secara kontinu menggunakan mekanisme perulangan (*loop*). Integrasi dengan platform Blynk memungkinkan pemantauan data dari jarak jauh melalui *smartphone*, sehingga meningkatkan fleksibilitas penggunaan sistem. Meskipun masih terdapat keterbatasan pada tampilan LCD dan akurasi sensor MQ-135, sistem yang dikembangkan telah membuktikan konsep (*proof of concept*) pemantauan kualitas udara ruang kelas berbasis IoT yang efektif. Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada penambahan fitur notifikasi otomatis, integrasi aktuator (seperti kipas/AC otomatis), dan peningkatan akurasi sensor melalui kalibrasi terstandar.

Referensi

- [1] S. Sundell, "Indoor air quality and health," *Indoor Air*, vol. 24, no. 1, hlm. 92–100, 2014.
- [2] S. Sundell, "On the history of indoor air quality and health," *Indoor Air*, vol. 14, suppl. 7, hlm. 51–58, 2004.
- [3] World Health Organization, *Air Quality Guidelines for Europe*, 2nd ed. Geneva: WHO Press, 2000.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, dan M. Ayyash, "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, hlm. 2347–2376, 2015.
- [5] L. Atzori, A. Iera, dan G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, hlm. 2787–2805, 2010.

- [6] P. S. Sethi dan S. R. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, protocols, and applications," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, hlm. 1–25, 2017.
- [7] E. B. Raharjo, S. Marwanto, dan A. Romadhona, "Rancangan sistem monitoring suhu dan kelembapan ruang server berbasis Internet of Things," *Teknika*, vol. 6, no. 2, hlm. 61–68, 2019.
- [8] M. Sadali, Y. K. Putra, dan L. Kertawijaya, "Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara di Jalan Raya dengan Platform IoT," *Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, hlm. 11–21, 2022.
- [9] Jauhari, M. R., Eliza, F., Candra, O., & Mukhaiyar, R. (2024). The design of carbon monoxide gas control systems in rooms based on IoT. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 5(1), 234–242.
- [10] M. A. Razzaque et al., "Middleware for Internet of Things: A survey," *IEEE IoT Journal*, vol. 3, no. 1, hlm. 70–95, 2016.
- [11] Espressif Systems, *ESP8266EX Datasheet*, ver. 6.6. Shanghai: Espressif Systems, 2020.
- [12] R. K. Kodali dan S. Mandal, "IoT based environmental monitoring system," dalam *Proc. IEEE ICEEOT*, Chennai, 2016, hlm. 2201–2205.
- [13] Aosong Electronics Co., Ltd., *DHT22 Product Manual – AM2302*. Guangzhou: Aosong Electronics, 2021.
- [14] Hanwei Electronics Co., Ltd., *Technical Data MQ-135 Gas Sensor Datasheet*. Zhengzhou: Hanwei Electronics, 2020.
- [15] Blynk Inc., *Blynk IoT Platform Documentation*, ver. 1.0. New York: Blynk Inc., 2023. [Online]. Tersedia: <https://docs.blynk.io>
- [16] A. Banks dan R. Gupta, *MQTT Version 3.1.1*. OASIS Standard, 2014. [Online]. Tersedia: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>
- [17] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.