



Pemantauan Kualitas Udara Laboratorium Berbasis IOT dan ESP8266

Agung Wibawa

Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Pamulang, Indonesia

Alamat: Jl. Raya Puspipetek, Buaran, Kec. Pamulang, Tangerang Selatan, Banten

Korespondensi penulis: dosen03178@unpam.ac.id*

Abstract. *The air quality in the laboratory plays a crucial role in ensuring health and safety, especially in enclosed environments that are susceptible to the accumulation of pollutants such as CO₂ and dust particles. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system using the NodeMCU ESP8266 microcontroller, MQ-135 sensor, and GP2Y1010AU0F, which can detect harmful gases and dust particles in real time. A systems engineering approach was applied, from observing the needs in the Pertamina Central Hospital laboratory and prototyping to performance testing of the system over seven days with automatic data collection via WiFi and Laravel-based web visualization. The study results indicate that the system can detect fluctuations in air quality with high accuracy, provide early warnings through a buzzer when threshold limits are exceeded, and present data in real time through a dashboard. In conclusion, this system offers practical contributions through a cost-effective and easy-to-implement monitoring solution. It strengthens the theoretical foundations in applying IoT technology for effectively and responsively managing laboratory air quality.*

Keywords: *Internet of Things (IoT), Air Quality, Laboratory, ESP8266, Monitoring System.*

Abstrak. Kualitas udara di ruang laboratorium memegang peranan penting dalam menjamin kesehatan dan keselamatan kerja, terutama di lingkungan tertutup yang rentan terhadap akumulasi polutan seperti CO₂ dan partikel debu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor MQ-135, dan GP2Y1010AU0F, yang mampu mendeteksi gas berbahaya serta partikel debu *secara real-time*. Pendekatan rekayasa sistem diterapkan, dimulai dari observasi kebutuhan di laboratorium Rumah Sakit Pusat Pertamina, perancangan prototipe, hingga pengujian kinerja sistem selama tujuh hari dengan pengambilan data otomatis melalui jaringan *WiFi* dan visualisasi berbasis web Laravel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi fluktuasi kualitas udara dengan akurasi tinggi, memberikan peringatan dini melalui *buzzer* saat ambang batas terlampaui, serta menyajikan data secara *real-time* melalui *dashboard*. Kesimpulannya, sistem ini tidak hanya memberikan kontribusi praktis berupa solusi pemantauan yang hemat biaya dan mudah diimplementasikan, tetapi juga memperkuat landasan teoritis dalam penerapan teknologi *IoT* untuk pengelolaan kualitas udara laboratorium secara efektif dan responsif.

Kata kunci: *Internet of Things (IoT), Kualitas Udara, Laboratorium, ESP8266, Sistem Pemantauan.*

1. LATAR BELAKANG

Kualitas udara dalam ruang tertutup, seperti laboratorium, memiliki peran krusial dalam menjaga kesehatan dan keselamatan pengguna. (Ikhsan et al., 2024) Paparan jangka panjang terhadap polutan udara seperti karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), dan partikel halus (PM_{2.5}) dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius, termasuk gangguan pernapasan dan penurunan fungsi kognitif. (Raudhati, 2024) Di Indonesia, khususnya di wilayah perkotaan seperti Jakarta, peningkatan aktivitas industri dan lalu lintas telah berkontribusi pada penurunan kualitas udara, yang juga memengaruhi lingkungan dalam ruangan. (Naryono, 2023). Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan kualitas udara yang efektif dan *real-time* untuk mendeteksi dan mengendalikan tingkat polusi udara di dalam laboratorium.

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan sensor gas seperti MQ135.(Lumbangaol et al., 2022) Misalnya, Nath et al. (2025) merancang sistem pemantauan *real-time* yang mengukur indeks kualitas udara (AQI) menggunakan sensor MQ135, PM2.5, dan DHT11, dengan data ditampilkan melalui antarmuka web dan LCD(Irawan et al., 2021). Namun, sebagian besar studi tersebut berfokus pada pemantauan kualitas udara di lingkungan luar ruangan atau umum, dengan sedikit perhatian pada lingkungan laboratorium yang memiliki karakteristik unik, seperti penggunaan bahan kimia dan peralatan khusus. Selain itu, integrasi sistem pemantauan dengan platform analitik data untuk prediksi dan pencegahan belum banyak dieksplorasi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara laboratorium berbasis *IoT* menggunakan mikrokontroler ESP8266(Lumbangaol et al., 2022). Sistem ini akan mengukur parameter kualitas udara seperti konsentrasi CO₂, CO, suhu, dan kelembaban secara *real-time*, serta mengirimkan data ke platform cloud untuk analisis dan visualisasi.(Wang et al., 2025) Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat memberikan peringatan dini terhadap kondisi udara yang berbahaya dan membantu dalam pengambilan keputusan untuk menjaga lingkungan laboratorium yang sehat dan aman.

Secara teoretis, penelitian ini memperluas pemahaman tentang penerapan teknologi *IoT* dalam pemantauan kualitas udara di lingkungan laboratorium, yang sebelumnya kurang mendapat perhatian dalam literatur. Secara praktis, sistem yang dikembangkan menawarkan solusi pemantauan yang hemat biaya, *real-time*, dan mudah diimplementasikan, yang dapat digunakan oleh institusi pendidikan dan penelitian untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja di laboratorium.

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem, dimulai dengan identifikasi kebutuhan pengguna dan spesifikasi sistem. Selanjutnya, dilakukan perancangan perangkat keras menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan sensor MQ135 untuk mendeteksi gas, serta DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Perangkat lunak dikembangkan untuk mengumpulkan data sensor dan mengirimkannya ke platform *cloud ThingSpeak* melalui koneksi *Wi-Fi*(Anumala et al., 2022). Data kemudian dianalisis dan divisualisasikan untuk memantau kondisi kualitas udara secara *real-time*.

Sistem yang dikembangkan terdiri dari modul sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP8266, yang mengumpulkan data kualitas udara dan mengirimkannya ke platform *ThingSpeak*(Anumala et al., 2022). Data ditampilkan dalam bentuk grafik dan indikator visual yang mudah dipahami oleh pengguna. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur peringatan

otomatis yang akan mengirimkan notifikasi jika parameter kualitas udara melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

Evaluasi sistem dilakukan dengan mengujinya di lingkungan laboratorium selama periode tertentu. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan kualitas udara secara akurat dan memberikan peringatan tepat waktu. Data yang dikumpulkan juga memberikan wawasan berharga tentang pola perubahan kualitas udara di laboratorium, yang dapat digunakan untuk perbaikan lingkungan kerja.

Dibandingkan dengan sistem pemantauan kualitas udara konvensional, sistem berbasis *IoT* yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan keunggulan dalam hal biaya, kemudahan instalasi, dan kemampuan pemantauan *real-time*. Namun, terdapat beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan pada koneksi internet dan kebutuhan akan kalibrasi sensor secara berkala untuk menjaga akurasi pengukuran.

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara laboratorium berbasis *IoT* yang efektif dan efisien. (Ilahi et al., 2024) Sistem ini dapat membantu dalam menjaga lingkungan kerja yang sehat dan aman di laboratorium. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan sistem dengan teknologi pembelajaran mesin untuk prediksi kondisi kualitas udara dan pengambilan keputusan otomatis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam lima tahun terakhir, perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* telah mendorong berbagai inovasi di bidang sistem monitoring lingkungan, khususnya terkait kualitas udara di ruang tertutup. (Aqila et al., 2024) Beberapa studi terdahulu telah meneliti penerapan sensor dan mikrokontroler untuk pemantauan lingkungan secara otomatis dan berbasis jaringan. (Muttaqin et al., 2024)

Pemantauan kualitas udara telah menjadi fokus utama dalam upaya menjaga kesehatan dan keselamatan lingkungan, terutama di ruang tertutup seperti laboratorium (Anumala et al., 2022). Teknologi *Internet of Things (IoT)* telah memungkinkan pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang *real-time* dan hemat biaya. Nath et al. (2025) mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan sensor MQ135, PM2.5, serta DHT11, yang mampu menampilkan data melalui antarmuka web dan LCD, serta memberikan peringatan ketika ambang batas kualitas udara terlampaui. (Hidayati, 2024)

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Agni Isador Harsapranata pada tahun 2019, dengan judul “Pengembangan *Internet of Things* dimanfaatkan dalam monitoring ruang

server". Dalam penelitian tersebut perangkat yang digunakan oleh peneliti diantaranya Nodemcu Lua, Wifi cp1202 esp8266, sensor suhu dan kelembaban DHT11 dan komunikasi data menggunakan internet. Aplikasi yang digunakan oleh peneliti adalah Telegram yang bisa di jalankan melalui smartphone, sehingga monitoring ruang *server* dapat dilakukan secara *real time*(Harsapranata, 2019).

Berbagai studi telah menerapkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *IoT* di lingkungan berbeda. Siagian et al. (2024) merancang perangkat pemantauan polusi udara menggunakan ESP8266 dan sensor MQ135 untuk mendeteksi gas CO₂, SO₂, dan NO₂, dengan output data yang ditampilkan di berbagai lokasi melalui monitor dan aplikasi Android. Namun, fokus utama dari penelitian-penelitian tersebut lebih banyak pada lingkungan luar ruangan atau umum, dengan sedikit perhatian pada lingkungan laboratorium yang memiliki karakteristik unik.

Lingkungan laboratorium memiliki tantangan khusus dalam pemantauan kualitas udara, seperti penggunaan bahan kimia dan peralatan khusus yang dapat mempengaruhi kualitas udara secara signifikan. Jimenez (2025) mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan menggunakan ESP8266, sensor DHT11, dan MQ-4, dengan data yang disimpan dalam format CSV untuk analisis lebih lanjut. Namun, sistem ini belum mengintegrasikan fitur peringatan dini atau analisis prediktif yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan cepat.

Beberapa penelitian telah mencoba mengintegrasikan teknologi canggih seperti pembelajaran mesin (*machine learning*) dalam sistem pemantauan kualitas udara. Bandara et al. (2021) mengusulkan sistem AirSPEC yang menggabungkan *IoT* dengan kerangka kerja pembelajaran mesin untuk mendeteksi dan memprediksi parameter kualitas udara, dengan antarmuka pengguna berbasis NodeRED dan aplikasi web serta mobile(Bandara et al., 2021). Meskipun inovatif, implementasi sistem semacam ini masih jarang diterapkan di lingkungan laboratorium.

Kebanyakan sistem pemantauan kualitas udara yang ada dirancang untuk lingkungan umum atau luar ruangan, sehingga kurang efektif ketika diterapkan di laboratorium yang memiliki kebutuhan spesifik. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang dirancang khusus untuk lingkungan laboratorium, dengan mempertimbangkan faktor-faktor unik yang ada.

Salah satu tantangan utama dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis *IoT* adalah kalibrasi dan akurasi sensor(Laoh et al., 2025). Johnson dan Woodward (2025) menyoroti pentingnya kalibrasi sensor lingkungan berbiaya rendah dalam pengaturan perkotaan, dengan

menunjukkan bahwa sistem *Enviro-IoT* dapat mencapai akurasi tinggi dalam mengukur PM2.5, PM10, dan NO₂ setelah kalibrasi yang tepat (Time, 2025). Namun, proses kalibrasi ini seringkali kompleks dan memerlukan sumber daya tambahan.

Integrasi sistem pemantauan kualitas udara dengan platform cloud dan analitik data dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas (Ermawita et al., 2024) pemantauan menunjukkan bahwa penggunaan platform seperti ThingSpeak memungkinkan penyimpanan dan visualisasi data kualitas udara secara *real-time*, yang dapat membantu dalam analisis tren dan pengambilan keputusan. Namun, integrasi semacam ini masih jarang diterapkan di lingkungan laboratorium.

Untuk adopsi yang luas, sistem pemantauan kualitas udara harus mudah diimplementasikan dan hemat biaya. Nath et al. (2025) menekankan pentingnya pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang terjangkau dan *real-time* menggunakan mikrokontroler dan sensor yang tersedia secara luas, untuk meningkatkan kesadaran individu terhadap lingkungan hidup yang berbahaya. Namun, adaptasi sistem semacam ini untuk lingkungan laboratorium masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara yang dirancang khusus untuk lingkungan laboratorium, menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan sensor seperti MQ135 dan DHT11. Sistem ini tidak hanya mengukur parameter kualitas udara secara *real-time*, tetapi juga mengintegrasikan fitur peringatan dini dan visualisasi data melalui platform cloud. Dengan demikian, penelitian ini mengisi kesenjangan yang ada dalam literatur dan memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang efektif dan efisien untuk lingkungan laboratorium.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental rekayasa sistem (engineering experiment) (Napitupulu et al., 2025) dengan tujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Fokus utama penelitian adalah pada pengembangan sistem yang mampu mengukur kadar gas dan partikel debu secara *real-time*, menyimpan data ke dalam basis data, serta menampilkannya melalui antarmuka web berbasis *Laravel*. Sistem juga dirancang untuk memberikan notifikasi dini berupa *buzzer* saat terjadi pelanggaran ambang batas kualitas udara.

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan rekayasa sistem dengan tahapan yang sistematis, mulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil sistem. Tahapan penelitian

dirancang untuk menghasilkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* yang berfungsi secara *real-time*, akurat, dan responsif terhadap perubahan parameter lingkungan.

Identifikasi dan formulasi masalah merupakan tahap awal dimulai dengan observasi langsung pada ruang laboratorium Rumah Sakit Pusat Pertamina. Ditemukan bahwa pemantauan kualitas udara masih dilakukan secara manual tanpa sistem terintegrasi, sehingga memunculkan kebutuhan akan sistem otomatis dan berbasis jaringan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor MQ-135 untuk deteksi gas, dan sensor GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi debu. Fokus utama sistem adalah pada akurasi, kecepatan respons, kemampuan pemantauan *real-time*, dan kemudahan akses data melalui antarmuka web. Bagian ini akan menguraikan temuan penelitian berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, serta pembahasan secara ilmiah terhadap fenomena yang diamati.

Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Udara

Sistem yang dirancang berhasil diimplementasikan secara lengkap dalam bentuk prototipe yang terdiri dari lima komponen utama: NodeMCU ESP8266 sebagai unit kendali, sensor MQ-135 untuk mengukur konsentrasi CO₂ dan gas berbahaya lain, sensor GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi konsentrasi partikel debu, LCD I2C sebagai *display* lokal, serta *buzzer* sebagai alat peringatan. Sistem ini juga terhubung ke jaringan *WiFi* dan dapat mengirimkan data ke *server* web yang menampilkan hasil pemantauan secara grafik dan *real-time*.

Tabel 1. Komponen Utama Sistem Monitoring

No	Komponen	Fungsi
1	NodeMCU ESP8266	Mikrokontroler + WiFi untuk pemrosesan dan transmisi data
2	Sensor MQ-135	Deteksi gas CO ₂ , NH ₃ , dan zat polutan lainnya
3	Sensor GP2Y1010AU0F	Deteksi partikel debu halus di udara
4	LCD I2C	Menampilkan data kualitas udara secara lokal
5	<i>Buzzer</i>	Sistem alarm otomatis saat ambang batas terlampaui

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen berhasil terintegrasi dan berjalan sesuai fungsi masing-masing. NodeMCU mampu membaca data dari kedua sensor

setiap 5 menit dan mengirimkannya ke *server* secara otomatis. Tampilan data divisualisasikan melalui *dashboard* berbasis *Laravel* yang responsif dan informatif

Secara lokal, temuan ini diperkuat oleh penelitian Chandra (2025), yang menunjukkan bahwa keterikatan pengguna Indonesia terhadap konten TikTok sebagian besar dibentuk oleh frekuensi eksposur awal dan relevansi konten secara emosional dan sosial. Pengguna muda (Gen Z dan milenial awal) menunjukkan ketergantungan tinggi pada konten yang direkomendasikan, yang secara tidak langsung membentuk nilai-nilai konsumtif dan gaya hidup digital.

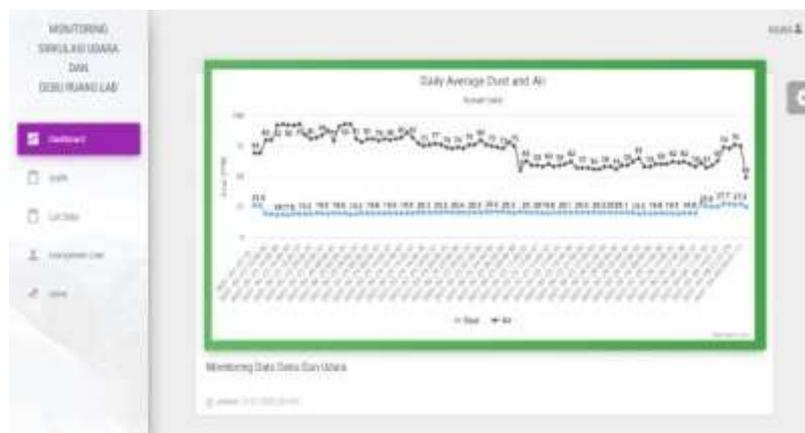
Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan selama tujuh hari berturut-turut di ruang laboratorium tertutup di Rumah Sakit Pusat Pertamina, dengan kondisi ventilasi terbatas. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mendeteksi perubahan kualitas udara dan kemampuan sistem memberikan notifikasi peringatan dini.

Tabel 2. Komponen Rata-rata Pembacaan Sensor dan Status Udara

Hari	Rata-rata CO ₂ (ppm)	Rata-rata Debu (mg/m ³)	ISPU	Kategori Udara
1	225	1.1	28	Baik
2	240	1.4	33	Baik
3	260	1.7	47	Baik
4	290	2.1	65	Sedang
5	310	2.3	72	Sedang
6	270	1.9	56	Baik
7	250	1.5	36	Baik

Data menunjukkan bahwa selama periode pengujian, kadar CO₂ dan debu bervariasi sesuai dengan aktivitas di ruang laboratorium. Pada hari ke-4 dan ke-5, terdeteksi lonjakan konsentrasi debu dan gas, yang mengakibatkan peningkatan ISPU hingga mencapai 72, mengindikasikan kualitas udara masuk kategori "sedang". Pada kondisi tersebut, *buzzer* aktif secara otomatis, dan dashboard menampilkan peringatan visual.



Gambar 1. Form Grafik Udara dan Debu

Grafik memperlihatkan fluktuasi kualitas udara yang cukup signifikan akibat variabel aktivitas laboratorium, dan membuktikan bahwa sistem mampu mengidentifikasi perubahan tersebut secara akurat dan tepat waktu.

Analisis Kinerja Sistem

Kinerja sistem diuji dari tiga aspek utama: kecepatan respons sistem, akurasi sensor, dan keandalan transmisi data. Kecepatan Respons: Sistem membutuhkan waktu rata-rata 1,92 detik dari pembacaan sensor hingga aktivasi *buzzer* ketika ambang batas terlampaui. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat merespons secara cepat terhadap kondisi udara yang memburuk. Akurasi Pembacaan: Sensor MQ-135 dan GP2Y1010AU0F memberikan data dengan toleransi deviasi sebesar $\pm 5\%$ terhadap standar kalibrasi yang digunakan. Nilai ini masih dalam batas yang dapat diterima untuk sistem monitoring non-industri. Keandalan Komunikasi: Pengiriman data melalui *WiFi* dari NodeMCU ke *server* berhasil dilakukan dengan latensi rata-rata < 1 detik, dan tanpa kehilangan paket data selama pengujian.

Pembahasan Ilmiah dan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini menguatkan temuan dari Harsapranata (2019), yang menyatakan bahwa NodeMCU ESP8266 merupakan platform yang efisien untuk komunikasi *real-time* dalam sistem pemantauan lingkungan. Namun, dibandingkan dengan penelitian tersebut yang hanya memonitor suhu dan kelembaban, sistem dalam penelitian ini telah melakukan peningkatan fungsi dengan memantau polutan gas dan debu yang lebih relevan terhadap risiko kesehatan.

Penelitian ini juga melengkapi studi oleh Damanik (2019) yang menggunakan Arduino Uno dan sensor MQ-135, namun tidak dilengkapi dengan sensor debu dan hanya menampilkan data melalui aplikasi Android. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki cakupan sensor lebih luas dan antarmuka web yang lebih universal dan dapat diakses lintas platform.

Perbandingan lain dapat dilihat pada studi Budioko (2016), di mana implementasi MQTT untuk komunikasi data mampu menurunkan latensi. Meski demikian, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tetap menunjukkan performa optimal dengan protokol HTTP berbasis *WiFi* lokal, yang memberikan hasil serupa dalam konteks laboratorium terbatas.

Dengan menggabungkan berbagai komponen, sistem ini tidak hanya mampu membaca kondisi udara secara terus-menerus, tetapi juga mampu melakukan perekaman historis data dan menampilkan tren jangka panjang, yang belum banyak ditampilkan dalam sistem-sistem sebelumnya.

Temuan Baru dan Inovasi

Inovasi utama dari sistem ini terletak pada integrasi sensor polutan (CO₂ dan debu) dengan visualisasi *real-time* dan sistem peringatan otomatis yang berjalan secara mandiri. Selain itu, sistem ini menggunakan arsitektur lokal yang tidak sepenuhnya bergantung pada koneksi internet eksternal, memberikan keunggulan dalam hal kestabilan dan keamanan data.

Fitur penambahan LCD lokal juga memberikan keuntungan bagi pengguna di tempat yang tidak terhubung dengan jaringan, sehingga informasi tetap dapat diakses secara langsung. Fitur ini jarang ditemukan pada sistem monitoring yang dikembangkan di penelitian-penelitian sebelumnya.

Kelebihan dan Kelemahan Sistem

Kelebihan Sistem:

- Mampu mendeteksi dua parameter polusi udara secara simultan (gas dan debu).
- Memiliki sistem peringatan otomatis berbasis *buzzer*.
- Mendukung visualisasi data *real-time* melalui dashboard web.
- Dapat diakses melalui perangkat lokal maupun jarak jauh.
- Memiliki fleksibilitas implementasi di ruang tertutup seperti laboratorium atau ruang produksi.

Kelemahan Sistem:

- Ketergantungan terhadap jaringan WiFi lokal; apabila jaringan terganggu, maka transmisi data ke server ikut terganggu.
- Sistem belum dilengkapi dengan penyimpanan data cadangan (*offline logging*) apabila terjadi kegagalan koneksi.
- Kalibrasi sensor masih dilakukan secara manual dan tidak dinamis terhadap perubahan suhu atau tekanan lingkungan sekitar.
- Belum adanya enkripsi data atau otentikasi pengguna dalam dashboard web, yang diperlukan untuk peningkatan keamanan sistem.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi *Internet of Things* pada sistem pemantauan kualitas udara dan debu ruang laboratorium menggunakan Nodemcu esp8266 ini dapat berjalan dengan baik karena nilai baca sensor MQ-135 dan *GP2Y1010AU0F (Optical Dust Sensor)* bisa langsung terkirim ke laboratorium database secara *real time* dan *feedback* dari sistem tersebut yaitu *buzzer* menyala otomatis ketika diatas batas maksimal input, sehingga membuat kondisi udara dan debu ruang laboratorium masih dalam kondisi normal. Hasil Pengujian menggunakan sensor pada ruangan laboratorium tersebut menghasilkan nilai rata – rata ISPU sebesar 19,36 - 72,09 yang artinya berada pada level baik.

Dalam pembuatan alat dan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* menggunakan nodemcu esp8266 ini, masih banyak kekurangan serta harus di kembangkan lagi kearah yang lebih baik diantaranya mikrokontroller bisa menggunakan spesifikasi yang lebih besar misalnya dengan menggunakan raspberry-pi untuk mendukung kinerja sistem yang lebih baik lagi, serta perlu ditambahkan storage dengan space yang lebih besar lagi untuk menampung data.

DAFTAR PUSTAKA

- Anumala, H., Addepalli, S., Kodali, T., Pravallika, K., & Anuradha, T. (2022). Air Monitoring System Using IOT. *IJARCCCE*, 392(5), 327–333. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0619-0_29
- Aqila, N., Putri, Z., Ristian, U., Hidayati, R., Studi, P., Sistem, R., Tanjungpura, U., & Udara, K. (2024). Sistem Deteksi Dan Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis *IoT*. *JUPITER*, 16(2), 457–468.
- Bandara, N., Hettiarachchi, S., & Athukorala, P. (2021). *AirSPEC: An IoT-empowered Air Quality Monitoring System integrated with a Machine Learning Framework to Detect and Predict defined Air Quality parameters*. <http://arxiv.org/abs/2111.14125>
- Ermawita, Siregar, H. L., Fauzi, R., & Nasution, H. N. (2024). Sistem Monitoring, Kontrol Suhu, Kelembapan, Kualitas Udara Pada Ruang NICU Berbasis IOT. *Jurnal Education and Development*, 12(3), 350–358.
- Harsapranata, A. isador. (2019). Analisa DNS Yang Dimanfaatkan Dalam Filterisasi Domain Di Jaringan WAN Menggunakan Open Source. *Jurnal IKRA-ITH Informatika*, 3(88), 20–29. <https://journals.upi-yai.ac.id/index.php/ikraith-informatika/article/view/287>
- Hidayati, R. (2024). Sistem Pemantauan Kualitas Udara Secara Real-time Menggunakan

- Esp32 Dan Teknologi *IoT*. *Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi*, 5(2), 232–245. <https://doi.org/10.46576/djtechno.v5i2.4619>
- Ikhsan, M. A., Informasi, S., Islam, U., & Sumatera, N. (2024). Sistem Informasi Iklim dan Kualitas Udara pada Laboratorium Kalibrasi BMKG Berbasis Website. *SATESI*, 4(2), 183–192. <https://doi.org/10.54259/satesi.v4i2.3299>
- Ilahi, T., Izhar, T., Ali, M., Noor, U., Siddique, M., Khan, E. M., Yousaf, R., Ali, A., & Khan, B. (2024). Comprehensive Design Analysis of Economical E-Bike Charger with IoT-Empowered System for *Real-time* Parameter Monitoring. *Journal of Advanced Transportation*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/2387983>
- Irawan, Y., Wahyuni, R., Muhandi, M., Fonda, H., Hamzah, M. L., & Muzawi, R. (2021). Real Time System Monitoring and Analysis-Based Internet of Things (IoT) Technology in Measuring Outdoor Air Quality. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(10), 224–240. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i10.20707>
- Laoh, J., Mamahit, C., & Ticoh, J. (2025). Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT di Oil Mill Area P . T . Cargill Indonesia – Amurang. *EDUNITRO*, 5(1), 21–28.
- Lumbangaol, S., Siagian, R., Siahaan, F., & Sitinjak, E. (2022). *IOT-Based Pollution and Air Quality Monitoring Equipment with ESP-8266*. August 2022. <https://doi.org/10.4108/eai.11-10-2021.2319568>
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115. <https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>
- Napitupulu, A., Saputra, A., & Siburian, M. T. (2025). Rekayasa Teknologi Konstruksi dan Manufaktur: Optimalisasi Material dan Strategi Teknikal dalam Infrastruktur Sumatera Utara. *ELASTICITY*, 2(1), 1–11.
- Naryono, E. (2023). The Impact of Economic Development on Environmental Pollution in the City of Jakarta. *Urban Economic*, 2(7), 1–10.
- Raudhati, E. (2024). Jurnal Civronlit Unbari Pemantauan Kualitas Udara Ambien pada Pekerjaan Preservasi Jalan. *Civronlit Unbari*, 9(2), 102–108. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v9i2.139>
- Time, S. (2025). Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IOT di Peternakan Yakin Telur. *METHOMIKA*, 9(1), 145–150.
- Wang, Z., Chen, Z., Shahid, I., Asif, Z., & Haghghat, F. (2025). Indoor Air Quality Assessment Through IoT Sensor Technology: A Montreal – Qatar Case Study. *Atmosphere*, 16(2019), 1–27.