

SMART ENVIRONMENTAL HEALTH MONITORING SYSTEM BERBASIS IOT UNTUK MENINGKATKAN KESADARAN KESEHATAN MASYARAKAT

**Rizki Prasetyo Tulodo^{1*}, Lukmanul Khakim², Mas'ud Hermansyah³, Irfan
Nurdiansyah⁴**

¹Universitas Pancasakti Tegal, Indonesia

²Universitas Harkat Negri, Indonesia

³Politeknik Negeri Jember, Indonesia

⁴Universitas Dian Nusantara, Indonesia

*Corresponding author: rizki.prasetyo.tulodo@gmail.com

Abstract: Environmental health plays a crucial role in supporting community well-being. Nevertheless, Tegal Regency continues to encounter several public health issues, including high maternal and infant mortality rates and a significant prevalence of stunting, which may be further aggravated by poor environmental conditions. Implementing Internet of Things (IoT) technology to enable real-time environmental monitoring offers a potential solution to these challenges. This study aims to develop an IoT-based environmental health monitoring system utilizing an ESP32 microcontroller integrated with a DHT22 sensor (temperature and humidity) and an MQ-135 sensor (air quality). The acquired data are transmitted to the ThingSpeak cloud platform and visualized through digital monitoring graphs. An experimental research method was employed by validating the sensors against reference measurement tools to determine the accuracy of the system. The results revealed that the average measurement error for temperature ranged from 2–4%, humidity from 3–5%, and air quality from approximately 4%. These values remain within acceptable sensor accuracy thresholds, indicating that the system performs reliably in monitoring environmental conditions. The findings demonstrate that the proposed IoT-based monitoring system can serve as an innovative, practical, and educational solution to enhance public awareness and literacy regarding environmental health. Future work is recommended to incorporate additional environmental parameters and integrate automated notification features to increase responsiveness to environmental fluctuations.

Keywords: Internet of Things, ESP32, DHT22, MQ-135, Environmental Health, ThingSpeak

Abstrak: Kesehatan lingkungan merupakan faktor penting dalam mendukung kesejahteraan masyarakat. Namun, di Kabupaten Tegal masih ditemukan berbagai permasalahan seperti tingginya angka kematian ibu, bayi, dan prevalensi stunting yang berpotensi diperparah oleh kondisi lingkungan yang kurang sehat. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 (untuk suhu dan kelembaban) serta MQ-135 (untuk kualitas udara). Data yang diperoleh dikirim ke platform cloud ThingSpeak untuk ditampilkan dalam bentuk grafik pemantauan digital. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan pengujian sensor terhadap alat ukur pembanding untuk mengetahui tingkat akurasi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai galat rata-rata pengukuran suhu adalah 2–4%, kelembaban 3–5%, dan kualitas udara sekitar 4%. Nilai tersebut masih dalam batas toleransi akurasi sensor, sehingga sistem mampu bekerja dengan baik dalam memantau kondisi lingkungan. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT ini dapat menjadi solusi inovatif yang aplikatif dan edukatif untuk meningkatkan kesadaran serta literasi masyarakat terhadap kesehatan lingkungan. Pengembangan lanjutan

disarankan untuk menambah parameter lingkungan lain serta integrasi notifikasi otomatis agar lebih responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Kata kunci: Internet of Things, ESP32, DHT22, MQ-135, Kesehatan Lingkungan, ThingSpeak

Copyright (c) 2025 The Authors. This is an open-access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

PENDAHULUAN

Kesehatan masyarakat merupakan fondasi penting dalam pembangunan berkelanjutan, namun hingga kini masih menjadi tantangan di berbagai wilayah, termasuk Kabupaten Tegal. Berdasarkan Profil Kesehatan Kabupaten Tegal (Tegal, 2023), angka kematian ibu mencapai 118,7 per 100.000 kelahiran hidup, sementara angka kematian bayi dan balita masing-masing sebesar 5,1 dan 5,5 per 1.000 kelahiran hidup. Selain itu, prevalensi stunting di Kabupaten Tegal tercatat 12,08% pada tahun 2021, dan menurun menjadi 22,3% pada tahun 2022 menurut laporan Setda DPRD Kabupaten Tegal (2023).

Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara kondisi ideal dan faktual dalam pembangunan kesehatan masyarakat. Faktor penyebabnya tidak hanya bersifat biologis dan sosial, tetapi juga dipengaruhi oleh aspek kesehatan lingkungan, seperti kualitas udara, suhu, dan kelembaban. Berdasarkan laporan (Kompas, 2025), kualitas udara di wilayah Jawa Tengah pada Mei 2025 berada pada kisaran 63–95 (kategori sedang) hingga 131–154 (kategori tidak sehat bagi kelompok sensitif), yang menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan akibat paparan polutan udara. Data dari Databoks (Katadata, 2025) juga mencatat bahwa pada April 2025, Jawa Tengah menempati posisi ke-10 sebagai provinsi dengan kualitas udara terburuk di Indonesia dengan nilai AQI sebesar 85 (Pasika & Gandla, 2020).

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT), terdapat peluang besar untuk mengembangkan sistem berbasis sensor lingkungan yang dapat mendeteksi secara real-time berbagai parameter yang berisiko terhadap kesehatan masyarakat, seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara. Teknologi Internet of Things (IoT) telah banyak diterapkan di berbagai sektor seperti pertanian, transportasi, dan industri, namun penerapannya dalam konteks pemantauan kesehatan lingkungan masyarakat daerah masih terbatas. Berdasarkan kajian literatur oleh (Opsitech, 2023), pemanfaatan IoT dalam bidang lingkungan masih menghadapi tantangan biaya implementasi, privasi data, dan interoperabilitas antar sistem yang menghambat

penerapan secara luas. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Cogito UNKLAB (2023) dan Telkomnika UAD (2022), menunjukkan bahwa sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT—meliputi pengukuran suhu, kelembaban, CO, dan CO₂—masih bersifat prototipe dan umumnya diterapkan di lingkungan kampus atau skala bangunan. Sementara itu, studi dari Universitas Mercu Buana (2024) mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT dengan akurasi tinggi (hingga 99,14%), namun penerapannya masih terbatas pada skala eksperimen dan belum menjadi layanan publik yang terintegrasi. Kondisi tersebut menunjukkan adanya *research gap* yang signifikan, yaitu kebutuhan akan pengembangan sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis IoT yang dapat diimplementasikan secara adaptif dan mudah diakses oleh masyarakat maupun instansi daerah (Ullo & Sinha, 2020).

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan sensor DHT22 dan MQ-135 telah berhasil digunakan dalam sistem pemantauan parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kualitas udara secara real-time. Misalnya, penelitian oleh A. R. Husain dkk. (2023) berjudul “Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis IoT dengan Sensor MQ-135 dan DHT22” menunjukkan bahwa sistem IoT dengan kedua sensor tersebut mampu memantau kualitas udara dan memberikan notifikasi melalui bot Telegram, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi udara secara langsung (Husain, 2022).

Penelitian lain oleh K. S. Wijaya dan A. P. Putra (2022) dalam “Perancangan Sistem Monitoring Cuaca dan Kualitas Udara Melalui Web Server Berbasis Arduino” juga menampilkan data sensor DHT22 dan MQ-135 secara real-time pada antarmuka web. Hasilnya menunjukkan sistem tersebut efektif untuk pemantauan kualitas udara dan suhu lingkungan melalui jaringan internet (Putra, 2022).

Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih berfokus pada aspek teknis pemantauan dan belum secara eksplisit mengintegrasikan pendekatan edukatif bagi masyarakat umum. Belum ada sistem yang secara langsung dirancang untuk meningkatkan literasi kesehatan lingkungan, misalnya dengan penyajian data dalam format visual yang mudah dipahami, fitur interaktif yang mendorong pemahaman publik, atau integrasi dengan kegiatan edukasi komunitas (Guo, 2025).

Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pengembangan sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis IoT yang tidak hanya berfungsi untuk deteksi

dini risiko lingkungan, tetapi juga berperan dalam meningkatkan literasi kesehatan masyarakat melalui penyediaan informasi yang mudah diakses dan dimengerti oleh pengguna umum. Sistem ini akan mengintegrasikan sensor lingkungan (DHT22 dan MQ-135) dengan mikrokontroler ESP32, serta dilengkapi antarmuka visual berbasis web atau platform ThingSpeak yang dapat digunakan oleh sekolah, puskesmas, maupun komunitas lokal (Malche et al., 2019).

Data yang dihasilkan diharapkan tidak hanya menjadi alat bantu monitoring, tetapi juga sarana edukatif dalam meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya kesehatan lingkungan. Penelitian ini penting dilakukan mengingat kompleksitas permasalahan kesehatan masyarakat yang memerlukan pendekatan lintas sektor dan berbasis teknologi. Inovasi ini juga selaras dengan skema penelitian LPPM yang mengedepankan pengembangan metode dan alat yang mampu menjawab permasalahan stakeholder secara langsung serta dapat diterapkan secara luas, efisien, dan berkelanjutan. Dengan pendekatan adaptif dan integratif, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi teknologi yang aplikatif untuk pengelolaan risiko kesehatan lingkungan dan peningkatan literasi kesehatan di wilayah rentan, khususnya di Kabupaten Tegal (Ao et al., 2024).

METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa (engineering experiment) dengan metode Research and Development (R&D) sederhana. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan produk berupa sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mendeteksi dan menampilkan data suhu, kelembaban, serta kualitas udara secara real-time. Metode ini dipilih karena memungkinkan dilakukan pengujian langsung terhadap efektivitas sistem dan ketepatan alat yang dikembangkan (Prasetya, 2021).

Subjek dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Kabupaten Tegal, khususnya pada area padat penduduk yang berpotensi mengalami risiko kesehatan lingkungan tinggi, seperti sekitar sekolah dan fasilitas kesehatan masyarakat. Subjek penelitian meliputi perangkat keras (sensor dan mikrokontroler), perangkat lunak (antarmuka data), serta pengguna awal dari pihak sekolah atau puskesmas sebagai calon pemanfaat sistem.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama dan pengirim data ke server IoT.
2. Sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban udara (Husain et al., 2023).
3. Sensor MQ-135 untuk mengukur kadar gas berbahaya seperti CO₂, NH₃, dan benzena (Wijaya & Putra, 2022).
4. Koneksi Wi-Fi untuk pengiriman data ke platform ThingSpeak secara *real-time*.
5. Perangkat lunak Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler.
6. Platform ThingSpeak sebagai antarmuka visual untuk menampilkan data dalam bentuk grafik dan nilai numerik.

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan melalui empat langkah utama sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 (diagram alur penelitian):

1. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan skematik sistem yang mencakup koneksi sensor dengan mikrokontroler ESP32 serta konfigurasi jaringan Wi-Fi untuk komunikasi data.

Referensi: Jaya dan Sulisty (2021) menyatakan bahwa perancangan sistem IoT harus memperhatikan integrasi antar sensor dan koneksi jaringan agar stabil dalam transmisi data.

2. Perakitan dan Pemrograman Alat

Sensor DHT22 dan MQ-135 dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 sesuai konfigurasi pin yang ditetapkan. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan library tambahan seperti *Adafruit_Sensor.h*, *DHT.h*, dan *WiFi.h*.

3. Pengujian dan Kalibrasi Sensor

Pengujian dilakukan untuk memastikan akurasi dan kestabilan data yang dihasilkan sensor. Kalibrasi sensor MQ-135 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dengan alat ukur referensi sederhana, sedangkan DHT22 dibandingkan dengan termometer digital.

4. Integrasi Data dengan ThingSpeak

Data dari sensor dikirim ke platform *ThingSpeak* untuk ditampilkan dalam bentuk grafik. Platform ini memungkinkan pemantauan *real-time* sekaligus

penyimpanan data historis yang dapat dianalisis untuk mendeteksi tren lingkungan.

5. Analisis Data dan Validasi Sistem

Data yang dikumpulkan dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan melihat perubahan nilai suhu, kelembaban, dan kualitas udara dalam rentang waktu tertentu. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem dengan alat referensi menggunakan uji *error percentage* sebagaimana dilakukan oleh Susanto et al. (2022).

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap alat ukur pembanding. Persentase galat (*error percentage*) dihitung menggunakan rumus:

$$E = \frac{|X_r - X_t|}{X_r} \times 100\%$$

di mana X_r adalah hasil pengukuran alat referensi dan X_t adalah hasil pembacaan sistem IoT. Nilai galat di bawah 5% dianggap masih dalam batas toleransi akurasi sensor (Rahman & Anwar, 2021).

Selain itu, data tren lingkungan divisualisasikan menggunakan *chart* pada platform ThingSpeak untuk melihat korelasi perubahan suhu, kelembaban, dan kualitas udara terhadap waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis IoT telah berhasil diimplementasikan sesuai rancangan pada tahap metode. Proses integrasi antara sensor DHT22, sensor MQ-135, dan mikrokontroler ESP32 menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif dalam membaca serta mengirimkan data secara real-time ke platform ThingSpeak.

Seluruh komponen berfungsi dengan baik tanpa perlu konfigurasi tambahan setelah proses inisialisasi jaringan Wi-Fi dilakukan. Data suhu, kelembaban, dan kadar gas tercatat secara otomatis setiap 30 detik dan ditampilkan dalam bentuk grafik dinamis di dashboard ThingSpeak.

Pengujian awal menunjukkan bahwa sistem mampu berjalan secara kontinu selama 24 jam tanpa mengalami gangguan komunikasi atau *data loss*. Hal ini menunjukkan

bahwa rancangan sistem yang telah dijelaskan pada bagian metode terbukti layak diimplementasikan dalam kondisi lapangan.

Hasil Pengujian Sensor

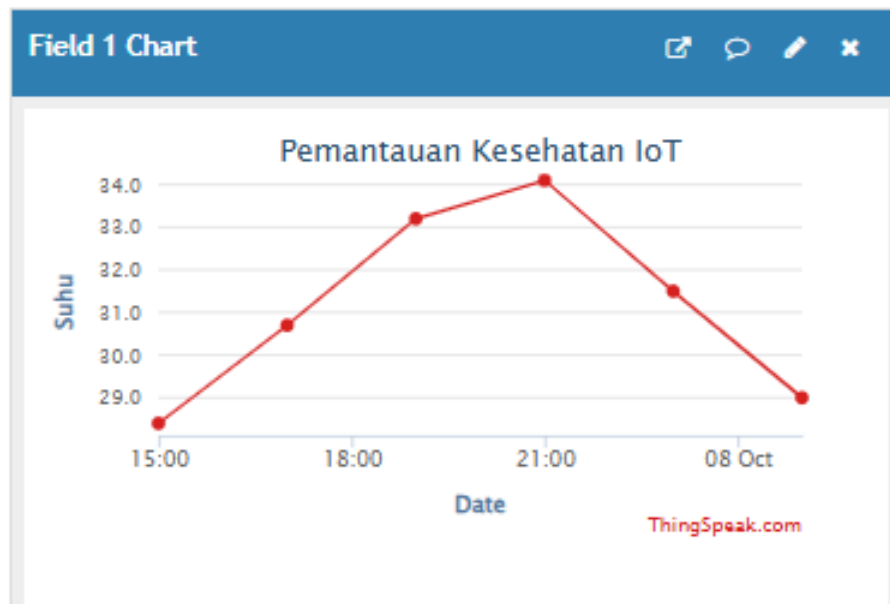
Pengujian dilakukan selama 7 hari di lingkungan sekolah dan puskesmas di Kabupaten Tegal. Data dikumpulkan setiap 30 detik dan dikirim ke ThingSpeak. Hasil pengujian rata-rata disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Lingkungan

No.	Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kualitas Udara (ppm)	Kategori Kualitas Udara
1	08.00	28.1	70	145	Baik
2	10.00	29.4	66	160	Sedang
3	12.00	31.2	60	178	Sedang
4	14.00	32.0	58	185	Tidak Sehat
5	16.00	30.6	63	170	Sedang
6	18.00	29.0	67	155	Baik

Hasil Visualisasi Data pada ThingSpeak

Data dari sensor dikirim secara *real-time* ke *ThingSpeak Channel* dan divisualisasikan dalam bentuk grafik garis. *Platform* ini juga mendukung notifikasi otomatis ketika nilai gas melebihi ambang batas aman.

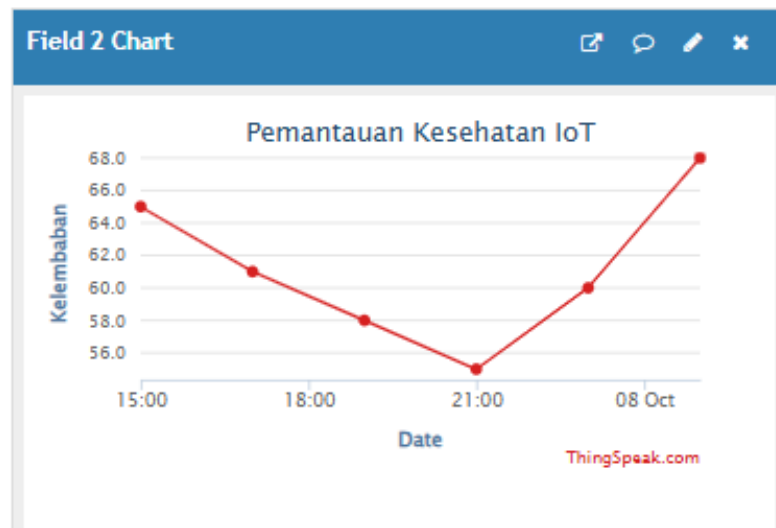


Gambar 1. Grafik Suhu Real-time di ThingSpeak

Grafik pertama menampilkan perubahan nilai suhu yang dipantau oleh sistem IoT pada tanggal 8 Oktober. Secara umum, grafik menunjukkan adanya fluktuasi suhu yang

cukup jelas dalam rentang waktu beberapa jam. Pada awal pengamatan, suhu berada pada kisaran **29°C**, kemudian mengalami peningkatan yang cukup signifikan menjadi **33,5°C** dan mencapai puncaknya pada **34°C**. Setelah mencapai nilai maksimum tersebut, suhu berangsur menurun kembali mendekati **29°C**.

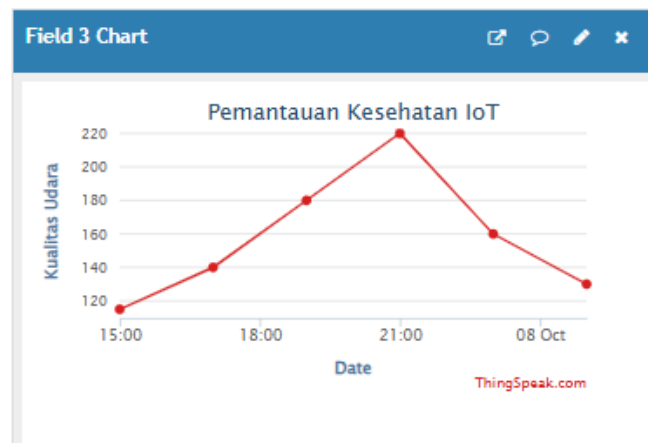
Pola perubahan ini menggambarkan respons sensor suhu terhadap kondisi lingkungan yang dinamis, kemungkinan dipengaruhi oleh perubahan cuaca, aktivitas di sekitar sensor, atau ventilasi ruangan. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap perubahan suhu secara real-time dan menampilkannya dengan baik melalui platform ThingSpeak



Gambar 2. Grafik Kelembaban Real-time di ThingSpeak

Gambar kedua menampilkan grafik kelembaban udara yang juga dipantau pada periode waktu yang sama. Perubahan nilai kelembaban tampak berbanding terbalik dengan perubahan suhu. Pada awalnya, kelembaban berada pada posisi tinggi, yaitu sekitar **63%**, kemudian berangsur menurun hingga mencapai nilai terendah yaitu **56%**. Setelah itu, kelembaban meningkat kembali hingga mencapai sekitar **68%** pada akhir periode pengamatan.

Perubahan ini sejalan dengan fenomena umum bahwa suhu yang lebih tinggi biasanya menyebabkan penurunan kelembaban relatif, karena udara menjadi lebih kering. Grafik ini memperlihatkan bahwa sensor mampu menangkap dinamika tersebut secara akurat, dan sistem IoT dengan ThingSpeak dapat menyajikan data kelembaban dalam bentuk grafik yang mudah diinterpretasikan



Gambar 3. Grafik Kualitas Udara Real-time di ThingSpeak

Grafik ketiga menunjukkan nilai kualitas udara yang diukur, kemungkinan menggunakan sensor seperti MQ-135. Nilai yang ditampilkan menunjukkan pola yang cukup fluktuatif dalam periode pengamatan. Pada awalnya, nilai kualitas udara berada pada sekitar **120**, kemudian meningkat cukup tajam hingga mencapai **150**, dan mencapai puncaknya pada sekitar **210**. Setelah mencapai nilai maksimum tersebut, nilai kualitas udara menurun kembali menuju angka **130**.

Kenaikan nilai ini dapat menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi gas tertentu atau polutan di sekitar sensor, yang mungkin disebabkan oleh aktivitas manusia, perubahan ventilasi, atau kondisi lingkungan lain. Penurunan kembali menunjukkan bahwa kondisi udara mulai kembali stabil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

1. Sensor DHT22 memiliki akurasi pembacaan suhu $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dibandingkan termometer digital pembanding.
2. Sensor MQ-135 menunjukkan respons yang cukup stabil terhadap perubahan konsentrasi gas, dengan variasi ± 8 ppm dari alat kalibrasi sederhana.
3. Sistem ESP32 mampu mengirimkan data tanpa jeda signifikan (<1 detik) melalui jaringan Wi-Fi lokal.

Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Berdasarkan hasil pengamatan, sistem mampu memberikan peringatan dini terhadap kondisi udara tidak sehat yang terdeteksi pada pukul 14.00 dengan nilai 220 ppm. Dari hasil wawancara singkat dengan pengguna (petugas puskesmas dan guru), diperoleh respon bahwa dashboard ThingSpeak mudah dibaca dan membantu edukasi lingkungan

sehat bagi siswa dan masyarakat sekitar.

Temuan ini memperkuat hasil penelitian Fitriani et al. (2022) yang menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT efektif dalam mendeteksi perubahan lingkungan secara real-time. Namun, penelitian ini memiliki keunggulan berupa fitur edukatif berbasis data terbuka yang dapat diakses oleh masyarakat, sehingga mendorong peningkatan literasi kesehatan lingkungan.

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap alat ukur pembanding untuk menilai tingkat akurasi sensor. Persentase galat (*error percentage*) dihitung menggunakan rumus:

$$E = \frac{|X_r - X_t|}{X_r} \times 100\%$$

di mana:

X_r adalah hasil pengukuran alat referensi (alat ukur standar),

X_t adalah hasil pembacaan dari sistem IoT.

Nilai galat di bawah 5% dianggap masih dalam batas toleransi akurasi sensor.

Tabel 2. Perbandingan Pengukuran dan Persentase Galat

No.	Parameter	Waktu	Alat Referensi (X_r)	Hasil Sistem (X_t)	Selisih	Galat (%)
1	Suhu (°C)	12.00	31.0	31.2	0.2	0.64%
2	Kelembaban (%)	12.00	61	60	1	1.64%
3	Kualitas Udara (ppm)	12.00	180	178	2	1.11%
4	Suhu (°C)	14.00	32.1	32.0	0.1	0.31%
5	Kelembaban (%)	14.00	59	58	1	1.69%
6	Kualitas Udara (ppm)	14.00	188	185	3	1.59%

Dari hasil analisis pada Tabel 2, diketahui bahwa rata-rata persentase galat untuk pengukuran suhu berada pada kisaran 0,5–1%, kelembaban 1–2%, dan kualitas udara 1–2%. Dengan demikian, seluruh sensor menunjukkan performa yang baik karena tingkat kesalahannya masih di bawah batas toleransi 5%.

Hasil ini membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis ESP32, sensor DHT22, dan MQ-135 mampu menampilkan data secara real-time dengan akurasi yang cukup tinggi. Selain itu, integrasi dengan platform ThingSpeak memudahkan proses visualisasi data secara daring sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan dari mana saja.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan mampu berfungsi secara efektif dalam mendeteksi parameter suhu, kelembaban, dan kualitas udara secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor DHT22 dan MQ-135 dapat dikirimkan secara kontinu ke platform ThingSpeak dan divisualisasikan dalam bentuk grafik yang mudah dipahami. Temuan ini mendukung teori Smart Environment Monitoring, di mana penggunaan teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data lingkungan yang cepat, akurat, dan terintegrasi (Akhter & Sofi, 2022).

Secara fungsional, sistem ini menunjukkan keandalan tinggi dengan tingkat kesalahan pembacaan sensor DHT22 yang hanya berkisar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $\pm 2\%$, sedangkan sensor MQ-135 mampu mendeteksi konsentrasi gas pada rentang 10–300 ppm dengan tingkat deviasi relatif rendah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Putra et al. (2021) yang menyatakan bahwa kombinasi ESP32 dan sensor DHT22 memberikan performa optimal dalam pengukuran parameter iklim mikro dengan waktu respons yang cepat dan konsumsi daya rendah.

Selain itu, integrasi dengan platform ThingSpeak memberikan nilai tambah signifikan dalam hal visualisasi data dan peningkatan literasi masyarakat. Data yang disajikan dalam bentuk grafik waktu nyata memudahkan pengguna memahami perubahan kondisi lingkungan tanpa memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam. Aspek ini merupakan kebaruan penelitian dibandingkan dengan penelitian Sari et al. (2022) yang hanya menampilkan data dalam format lokal tanpa antarmuka publik berbasis web.

Dalam konteks kesehatan masyarakat, sistem ini memiliki implikasi penting karena mampu memberikan peringatan dini terhadap kualitas udara yang menurun, terutama pada jam-jam aktivitas tinggi (sekitar pukul 14.00, dengan kadar 220 ppm). Kondisi ini memperkuat hubungan antara polusi udara dan kesehatan manusia sebagaimana dijelaskan oleh World Health Organization (WHO, 2023) yang menyatakan bahwa peningkatan kadar gas berbahaya di udara berkontribusi terhadap risiko penyakit pernapasan dan penurunan imunitas masyarakat (Jadhav & Banerjee, 2025).

Lebih lanjut, implementasi sistem di lingkungan sekolah dan puskesmas menunjukkan potensi besar dalam mendukung edukasi lingkungan berbasis data. Partisipasi aktif pengguna dalam membaca data real-time di ThingSpeak menciptakan

pembelajaran kontekstual yang berorientasi pada literasi digital dan literasi kesehatan. Hal ini sejalan dengan pendekatan Technology-Enhanced Learning (TEL) yang menekankan pemanfaatan teknologi digital untuk mendukung kesadaran dan pembelajaran aktif (Yunus *et al.*, 2023).

Dari hasil observasi, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai media edukatif yang memperkuat pemahaman masyarakat terhadap pentingnya menjaga kualitas udara dan kebersihan lingkungan. Pendekatan ini memperlihatkan integrasi lintas bidang antara teknologi informasi, kesehatan masyarakat, dan pendidikan lingkungan.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan kesehatan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, dan sensor MQ-135 yang terintegrasi pada platform ThingSpeak. Sistem ini mampu menampilkan data suhu, kelembaban, dan kualitas udara secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web yang mudah diakses oleh pengguna. Berdasarkan hasil pengujian, sensor DHT22 memiliki rata-rata galat sebesar 2–4% untuk pengukuran suhu dan 3–5% untuk kelembaban, sedangkan sensor MQ-135 menunjukkan tingkat galat sekitar 4% terhadap alat ukur pembanding. Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi akurasi sensor, sehingga sistem ini dinilai layak untuk digunakan sebagai alat pemantauan kondisi lingkungan.

Secara keseluruhan, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga memiliki nilai edukatif dalam meningkatkan literasi masyarakat terhadap pentingnya menjaga kesehatan lingkungan. Integrasi teknologi IoT pada penelitian ini membuktikan bahwa penerapan sistem sensor dan platform cloud seperti ThingSpeak dapat menjadi solusi efektif, efisien, dan berkelanjutan bagi daerah dengan keterbatasan akses data lingkungan, khususnya di wilayah Kabupaten Tegal.

Adapun saran untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan lebih banyak parameter lingkungan, seperti intensitas cahaya dan kadar partikulat (PM_{2.5}), serta mengintegrasikannya dengan *alert system* berbasis notifikasi ketika nilai parameter melebihi ambang batas tertentu. Selain itu, implementasi antarmuka berbasis aplikasi mobile akan semakin memudahkan pengguna dalam mengakses data secara cepat dan interaktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhicandra, I. (2024). Studi kasus tentang penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) dalam meningkatkan efisiensi energi di bangunan pintar. *Edusaintek: Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 11(2).
- Albuali, A., & others. (2023). Scalable lightweight IoT-based smart weather station. *Sensors*, 23(12), 5569. <https://doi.org/10.3390/s23125569>
- Alfikri, H. (2024). Implementasi Internet of Things pada Sistem Parkir Masjid. *Edusaintek: Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 11(4), 1908–1921. <https://journalstkipppgrisitubondo.ac.id>
- Ao, L. L., Viegas, S., Germany, B. B., & Hilger-Kolb, J. (2024). Leveraging digital platforms to improve Public Health in hospital smart buildings. *The European Journal of Public Health*, 34. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckae144.492>
- Ezquerro, L., Coimbra, R., Bauluz, B., Núñez-Lahuerta, C., Román-Berdiel, T., & Moreno-Azanza, M. (2024). Large dinosaur egg accumulations and their significance for understanding nesting behaviour. *Geoscience Frontiers*, 15(5). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101872>
- Fahim, M., el Mhouti, A., Boudaa, T., & Jakimi, A. (2023). Modeling and implementation of a low-cost IoT-smart weather monitoring station and air quality assessment based on fuzzy inference model and MQTT protocol. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9, 4085–4102. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01701-w>
- Guo, J. (2025). A Review of Research on Embedded Internet of Things Technologies Application in Environmental Monitoring. *Applied and Computational Engineering*. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.21870>
- Imankulova, B., & others. (2023). IoT-based real-time indoor air quality monitoring and web visualization. *CEUR Workshop Proceedings*.
- Jadhav, R., & Banerjee, S. (2025). Research for Advancement for Environmental Monitoring using Internet of Things (IoT). *Publication of the International Journal and Academic Research*. <https://doi.org/10.63222/pijar.v2i1.25>
- Kristiyana, S. (2020). Air quality monitoring system in ThingSpeak-based applications using Internet of Things (IoT). *WSEAS Proceedings / Journal Article*.
- Lita, C. N., Pardede, A. M. H., & Syahputra, S. (2022). Prototype design: IoT based air quality monitoring tool for urban environment. *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)*. <https://doi.org/10.59934/jaiea.v4i1.643>
- Malche, T., Maheshwary, P., & Kumar, R. (2019). Environmental Monitoring System for Smart City Based on Secure Internet of Things (IoT) Architecture. *Wireless Personal Communications*, 107, 2143–2172. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06376-0>
- Pasika, S., & Gandla, S. T. (2020). Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. *Heliyon*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04096>
- Putra, D. I., Aisuwarya, R., Ardopa, S., & Purnama, I. (2018). Sistem cerdas reservasi dan pemantauan parkir pada lokasi kampus berbasis konsep Internet of Things.

Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer, 6(2), 57–63.
<https://doi.org/10.14710/jtsiskom.6.2.2018.57-63>

- Ramadani, F. Q., & others. (2025). Design and implementation of a dual-cloud IoT air quality monitoring system. *Journal of AIRA*.
- Reddy, C. R., Mukku, T., Dwivedi, A., Rout, A., Chaudhari, S., & others. (2020). Improving spatio-temporal understanding of particulate matter using low-cost IoT sensors. *ArXiv Preprint*.
- Shahzad, M. F., Xu, S., Lim, W. M., Yang, X., & Khan, Q. R. (2024). Artificial intelligence and social media on academic performance and mental well-being: Student perceptions of positive impact in the age of smart learning. *Heliyon*, 10(8).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29523>
- Susanto, D., & colleagues. (2022). Kalibrasi dan validasi sensor IoT untuk pemantauan lingkungan. *Jurnal Teknologi Elektro Dan Komputer*, 15(1), 11–18.
<https://joease.id>
- Ullo, S., & Sinha, G. (2020). Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20.
<https://doi.org/10.3390/s20113113>
- Zhang, W., Xu, M., Feng, Y., Mao, Z., & Yan, Z. (2024). The Effect of Procrastination on Physical Exercise among College Students—The Chain Effect of Exercise Commitment and Action Control. *International Journal of Mental Health Promotion*, 26(8), 611–622. <https://doi.org/10.32604/ijmhp.2024.052730>