

Rancang Bangun Sistem Monitoring Parameter Lingkungan Pendukung Energi Terbarukan Berbasis Internet of Things sebagai Media Pembelajaran

Al Johany Sastria Hadi ¹, Tomy Pratama Zuhelmi ², Ratu Zahra Gusti Galih Maharani ³, Intan Komala Sari ⁴, Ririn Dwi Aryanti ⁵, Rizky Fajar Pratama ⁶, Yoga Bagus Pratama ⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Politeknik Negeri Lampung

² Politeknik Negeri Lampung

INFORMASI ARTIKEL

Dikirim: 22 Januari 2026

Revisi: 25 Februari 2026

Terbit : 28 Februari 2026

KATA KUNCI

Internet of Things (IoT), Sistem Monitoring Lingkungan, Media Pembelajaran Vokasi, Monitoring Energi Terbarukan, Integrasi Multi-Sensor

KORESPONDEN

Nama: Tomy Pratama Zuhelmi

E-mail: zoehellmie87@polinela.ac.id

ABSTRAK

Pembelajaran sistem tertanam dan *Internet of Things* (IoT) pada pendidikan vokasi memerlukan media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan konsep teori dengan praktik secara kontekstual. Namun, ketersediaan alat pembelajaran yang merepresentasikan sistem monitoring parameter lingkungan secara utuh masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring parameter lingkungan pendukung energi terbarukan berbasis IoT sebagai media pembelajaran terapan. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) yang meliputi tahap perancangan sistem, perakitan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, serta pengujian fungsional sistem. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor intensitas cahaya, kecepatan angin, dan curah hujan dengan mikrokontroler, komunikasi nirkabel, serta platform komputasi awan untuk menampilkan data secara waktu nyata melalui tampilan lokal dan dashboard berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi dan pengiriman data secara berkelanjutan dengan interval pengiriman 10 detik serta menunjukkan kestabilan operasi pada tegangan keluaran 5,02 volt. Sistem juga mampu merepresentasikan parameter lingkungan yang relevan sebagai pendukung pembelajaran konsep energi terbarukan. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem monitoring yang dikembangkan dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran pada pendidikan vokasi bidang teknik elektronika.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong transformasi sistem monitoring lingkungan dan energi menjadi lebih terintegrasi dan berbasis data waktu nyata. Integrasi sensor lingkungan dengan mikrokontroler dan platform cloud memungkinkan proses akuisisi, pemrosesan, serta visualisasi data dilakukan secara kontinu melalui jaringan internet [1], [2]. Dalam konteks energi terbarukan, parameter lingkungan seperti intensitas cahaya matahari, kecepatan angin, dan curah hujan merupakan indikator penting dalam analisis potensi energi surya dan angin [3], [4]. Oleh karena itu, sistem monitoring parameter lingkungan berbasis IoT memiliki relevansi yang tinggi baik pada ranah industri maupun pendidikan teknik.

Pada pendidikan vokasi dan rekayasa terapan, pembelajaran sistem tertanam dan IoT menuntut adanya media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan konsep teori dengan praktik secara langsung. Namun, sebagian besar sistem monitoring berbasis IoT yang telah dikembangkan sebelumnya berorientasi pada aplikasi lapangan atau pemantauan industri, seperti sistem

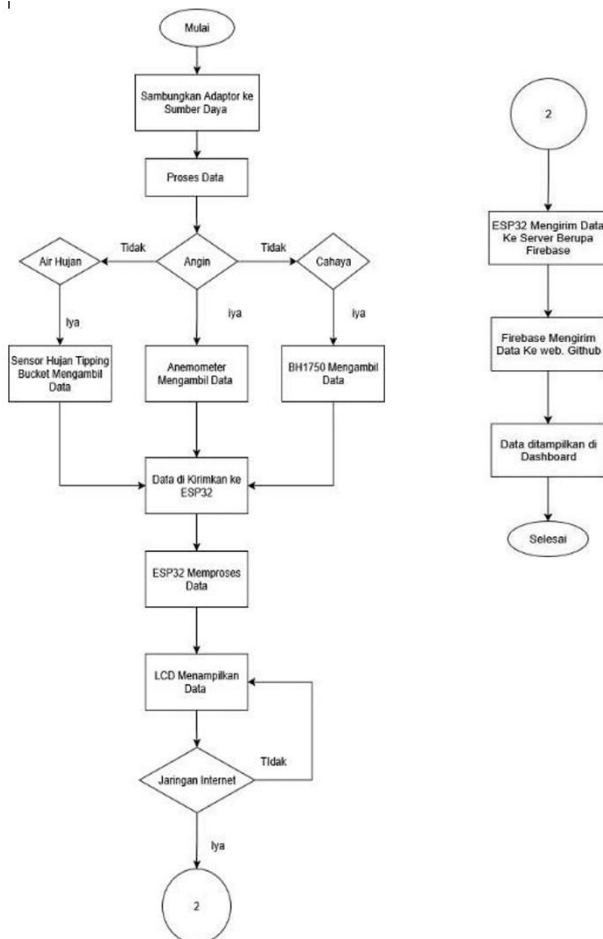
monitoring cuaca berbasis IoT [5], sistem monitoring radiasi matahari dan kecepatan angin [6], serta implementasi sensor lingkungan berbasis ESP32 [7]. Penelitian lain menunjukkan pemanfaatan sensor BH1750 untuk pengukuran intensitas cahaya [8], sistem monitoring curah hujan berbasis tipping bucket [9], serta sistem monitoring kecepatan angin berbasis pulsa [10]. Meskipun demikian, sistem-sistem tersebut lebih menitikberatkan pada aspek teknis pengukuran dan transmisi data, bukan pada perancangan perangkat sebagai media pembelajaran yang terintegrasi dan mudah direplikasi dalam kegiatan praktikum.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, terdapat kesenjangan antara pengembangan sistem monitoring berbasis IoT untuk kebutuhan teknis dan kebutuhan media pembelajaran yang terstruktur pada pendidikan vokasi. Sistem monitoring yang ada umumnya belum dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan perakitan, keterlacakan proses kalibrasi, transparansi algoritma konversi data, serta integrasi tampilan lokal dan dashboard web dalam satu platform pembelajaran. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara eksplisit mengaitkan sistem monitoring parameter lingkungan dengan konteks pembelajaran energi terbarukan secara terpadu.

Sejalan dengan analisis kesenjangan tersebut, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem monitoring parameter lingkungan pendukung energi terbarukan berbasis IoT yang diimplementasikan sebagai media pembelajaran.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental berbasis pengembangan sistem untuk merancang dan mengevaluasi kinerja sistem monitoring parameter lingkungan pendukung energi terbarukan berbasis *Internet of Things* (IoT). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan analisis terukur terhadap performa teknis sistem sebelum diimplementasikan secara luas dalam kegiatan pembelajaran. Fokus utama penelitian adalah merancang arsitektur sistem monitoring yang terintegrasi, kemudian mengevaluasi kinerjanya melalui pengujian fungsional dan analisis kuantitatif terhadap akurasi sensor, stabilitas pengiriman data, serta keandalan sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram alir cara kerja sistem

Tahapan penelitian dimulai dengan perancangan arsitektur sistem monitoring berbasis IoT. Sistem dirancang terdiri atas sensor intensitas cahaya BH1750, sensor kecepatan angin berbasis pulsa (anemometer), dan sensor curah hujan tipe *tipping bucket*. Ketiga sensor tersebut terhubung ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sekaligus modul komunikasi berbasis Wi-Fi. ESP32 membaca data sensor secara periodik, melakukan proses konversi data mentah menjadi satuan fisik,

serta mengirimkan data tersebut ke basis data *cloud* menggunakan protokol HTTP. Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul LCD 20×4 sebagai tampilan lokal yang memungkinkan pemantauan langsung di laboratorium.

Setelah perancangan perangkat keras dilakukan, tahap berikutnya adalah pengembangan perangkat lunak sistem. Program pada ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan struktur utama berupa inisialisasi sensor, pembacaan data periodik, proses kalibrasi linier, serta pengiriman data dalam format JSON ke *Firestore Realtime Database*. Untuk mengurangi fluktuasi pembacaan sensor akibat noise, diterapkan metode Moving Average pada data hasil pembacaan sebelum dikirimkan ke cloud. Dashboard berbasis web dikembangkan untuk menampilkan data dalam bentuk numerik dan grafik waktu nyata sehingga memudahkan proses observasi.

Model matematis digunakan untuk merepresentasikan proses konversi dan kalibrasi data sensor. Model kalibrasi linier dirumuskan sebagai:

$$Y = mX + c$$

di mana Y merupakan nilai hasil kalibrasi, X adalah data mentah sensor, m adalah koefisien regresi, dan c adalah konstanta offset.

Konversi intensitas cahaya dirumuskan sebagai:

$$L = k \cdot D$$

dengan L adalah intensitas cahaya (lux), D adalah data mentah sensor, dan k adalah konstanta konversi.

Kecepatan angin dihitung berdasarkan frekuensi pulsa anemometer:

$$V_{\text{angin}} = m \cdot f_{\text{pulsa}} + c$$

sedangkan curah hujan dihitung berdasarkan jumlah jungkit sensor:

$$CH = N_{\text{tipping}} \times P_{\text{resolusi}}$$

di mana CH adalah curah hujan (mm), N_{tipping} adalah jumlah jungkit, dan P_{resolusi} adalah resolusi per jungkit.

Pengujian sistem dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pengujian fungsional dan pengujian akurasi relatif. Pengujian fungsional bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu membaca sensor, menampilkan data pada LCD, serta mengirimkan data ke *cloud* secara kontinu dengan interval 10 detik. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kondisi cahaya, simulasi hembusan angin, dan aliran air pada sensor curah hujan. Respons sistem diamati baik secara lokal maupun melalui *dashboard* web.

Pengujian akurasi relatif dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi pada beberapa titik pengukuran. Selisih antara nilai sensor dan nilai referensi dianalisis menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE) yang dirumuskan sebagai:

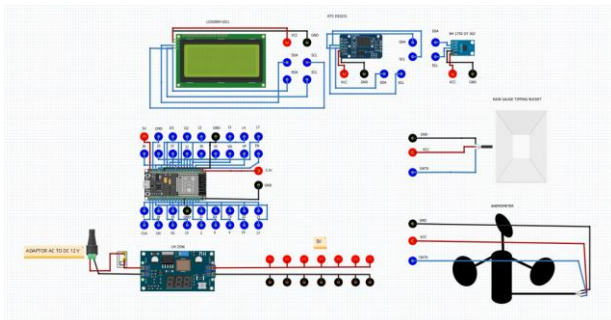
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{sensor,i} - Y_{acuan,i}|$$

Nilai MAE digunakan untuk menilai tingkat kedekatan hasil pembacaan sensor terhadap nilai acuan. Selain itu, kestabilan sistem dievaluasi berdasarkan konsistensi interval pengiriman data, kontinuitas koneksi Wi-Fi, dan stabilitas tegangan catu daya selama pengujian berlangsung.

Validasi sistem dilakukan melalui pengujian prototipe di lingkungan laboratorium dengan melibatkan mahasiswa sebagai pengguna uji coba. Observasi dilakukan terhadap kemudahan penggunaan, kejelasan tampilan data, serta integrasi antar komponen sistem. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif untuk menentukan kelayakan sistem sebagai media pembelajaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan perangkat keras merupakan tahap krusial dalam pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT), karena menentukan integrasi antar komponen, kestabilan sistem, serta kemudahan replikasi dalam konteks pembelajaran. Pada penelitian ini, sistem dirancang dengan pendekatan arsitektur terintegrasi yang menggabungkan subsistem akuisisi data, pemrosesan, komunikasi, dan visualisasi dalam satu platform. Setiap komponen dipilih berdasarkan kesesuaian fungsi, ketersediaan komersial, serta kemudahan implementasi pada lingkungan laboratorium pendidikan vokasi.



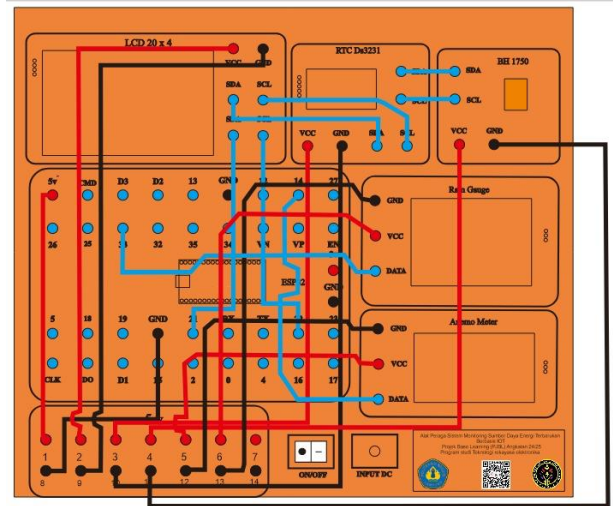
Gambar 2. Diagram Skematik Rangkaian Elektronika

Gambar 2 menunjukkan diagram integrasi perangkat keras sistem monitoring parameter lingkungan berbasis IoT yang terdiri atas subsistem catu daya, mikrokontroler ESP32, sensor BH1750, sensor tipping bucket, sensor anemometer, modul RTC, serta LCD 20×4. Sistem menggunakan komunikasi I2C untuk integrasi sensor dan tampilan, serta memanfaatkan interrupt digital untuk pembacaan pulsa sensor curah hujan dan kecepatan angin.

Setelah perancangan skematik rangkaian dilakukan, tahap berikutnya adalah realisasi tata letak fisik sistem dalam bentuk panel terintegrasi. Perancangan tata letak (*layout*) tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis konektivitas antar komponen, tetapi juga aspek ergonomis dan pedagogis agar sistem dapat digunakan secara optimal sebagai media pembelajaran. Pengaturan posisi modul, jalur distribusi daya, serta pemisahan area sensor dilakukan secara sistematis untuk mempermudah

proses instalasi, pemeliharaan, dan pengamatan selama praktikum.

Gambar 3 berikut menampilkan tata letak fisik sistem monitoring parameter lingkungan berbasis IoT yang telah direalisasikan dalam bentuk panel alat peraga. Layout ini menunjukkan pengelompokan komponen berdasarkan fungsi, yaitu area tampilan, area sensor, mikrokontroler, serta sistem distribusi daya yang terintegrasi dalam satu kesatuan sistem.



Gambar 3. Tata letak komponen training-kit

Alat peraga *training kit* monitoring sumber daya energi terbarukan telah berhasil direalisasikan melalui integrasi menyeluruh antar komponen sistem dalam satu platform terintegrasi. Sistem ini terdiri atas mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai unit pemrosesan utama, modul tampilan LCD karakter 20×4 berbasis pengendali HD44780 sebagai antarmuka lokal, serta kumpulan sensor lingkungan yang meliputi sensor intensitas cahaya BH1750, anemometer berbasis efek Hall untuk pengukuran kecepatan angin, dan sensor curah hujan tipe *tipping bucket*. ESP32 dipilih karena memiliki modul Wi-Fi terintegrasi serta kemampuan pemrosesan yang memadai untuk aplikasi IoT berbasis sensor multi-parameter [11], [12].

Sensor BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux dengan komunikasi I2C yang stabil dan presisi tinggi [13]. Pengukuran kecepatan angin dilakukan menggunakan anemometer berbasis pulsa yang memanfaatkan prinsip efek Hall, di mana frekuensi pulsa sebanding dengan kecepatan rotasi baling-baling [14]. Sementara itu, pengukuran curah hujan dilakukan menggunakan mekanisme *tipping bucket*, yang secara luas digunakan dalam sistem monitoring meteorologi karena kemudahan kalibrasi dan linearitas respon terhadap volume air [15].

Sistem catu daya menggunakan adaptor 12 V 2 A tipe *Switched Mode Power Supply* (SMPS) yang dikonversi menjadi 5 V melalui regulator tegangan untuk menjamin kestabilan suplai daya terhadap seluruh komponen sistem. Stabilitas tegangan merupakan faktor penting dalam menjaga konsistensi pembacaan sensor dan keandalan komunikasi data [16]. Seluruh data hasil pengukuran dikirimkan secara waktu nyata ke platform *cloud*

menggunakan konektivitas Wi-Fi yang terintegrasi pada ESP32, sehingga memungkinkan proses penyimpanan, visualisasi, dan analisis data dilakukan secara daring [17].

Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dalam satu sistem terpusat ini menghasilkan alat peraga yang tidak hanya berfungsi sebagai sistem monitoring teknis, tetapi juga sebagai media pembelajaran sistem tertanam dan IoT yang merepresentasikan alur akuisisi data, pemrosesan, komunikasi, hingga visualisasi secara utuh.

Setelah proses perancangan dan integrasi rangkaian perangkat keras dilakukan, tahap berikutnya adalah realisasi sistem dalam bentuk prototipe fisik yang siap diuji dan digunakan sebagai media pembelajaran. Realisasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh subsistem, mulai dari akuisisi data sensor, pemrosesan mikrokontroler, distribusi daya, hingga visualisasi data, dapat bekerja secara terintegrasi dalam satu platform yang kompak dan mudah dioperasikan. Selain itu, bentuk fisik prototipe dirancang agar memungkinkan mahasiswa mengamati secara langsung hubungan antar komponen, jalur sinyal, serta distribusi daya pada sistem monitoring berbasis IoT.

Gambar 4 berikut menampilkan hasil implementasi fisik alat peraga monitoring sumber daya energi terbarukan yang telah dirakit dan diuji pada lingkungan laboratorium.



Gambar 4. Citra alat

Gambar tersebut menunjukkan prototipe training kit monitoring yang terdiri atas panel utama berwarna oranye sebagai pusat integrasi rangkaian, modul sensor lingkungan eksternal, serta sistem konektivitas daya. Pada sisi kiri panel terlihat modul LCD 20×4 sebagai antarmuka tampilan lokal, sedangkan bagian tengah panel merupakan area koneksi mikrokontroler ESP32 dan jalur distribusi daya. Kabel berwarna merah merepresentasikan jalur tegangan (VCC), kabel hitam sebagai ground (GND), dan kabel biru sebagai jalur data atau komunikasi.

Pada sisi kanan panel terpasang sensor anemometer dan modul rain gauge tipe tipping bucket yang terhubung ke mikrokontroler melalui jalur sinyal digital berbasis pulsa. Penempatan sensor eksternal ini dimaksudkan untuk mensimulasikan kondisi pengukuran parameter lingkungan secara nyata, sehingga mahasiswa dapat memahami prinsip kerja pengukuran berbasis frekuensi pulsa dan konversi ke satuan fisik.

Tata letak prototipe memperlihatkan bahwa sistem dirancang modular dan transparan secara visual, sehingga mendukung proses pembelajaran berbasis praktik. Setiap komponen dapat diidentifikasi dengan jelas, dan hubungan antar modul dapat ditelusuri secara langsung, mulai dari sumber daya, sensor, mikrokontroler, hingga tampilan data. Dengan demikian, alat ini tidak hanya berfungsi sebagai sistem monitoring teknis, tetapi juga sebagai media pembelajaran terintegrasi pada bidang sistem tertanam dan IoT.

Selain pengujian teknis terhadap kinerja sistem monitoring, penelitian ini juga melakukan evaluasi terhadap aspek keterpakaian (*usability*) alat sebagai media pembelajaran. Evaluasi ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem dapat dioperasikan secara mandiri oleh mahasiswa serta untuk mengidentifikasi kendala yang mungkin muncul selama penggunaan. Data diperoleh melalui survei langsung kepada responden setelah mereka mengoperasikan alat sesuai prosedur pada buku panduan. Hasil rekapitulasi tingkat kemudahan penggunaan dan masukan umum pengguna disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Evaluasi Pengguna terhadap Training-kit

Aspek Evaluasi	Jumlah Responden	Persentase (%)	Temuan Utama
Pengoperasian alat lancar tanpa kendala	4	80%	Sistem dapat digunakan secara mandiri
Tidak mengalami kesulitan berarti	3	60%	Instalasi dan pengukuran stabil
Kendala pada pemasangan sensor	1	20%	Visualisasi sensor pada buku panduan kurang jelas
Saran perbaikan buku panduan	2	40%	Perlu penjelasan lebih rinci dan ilustrasi sensor
Saran perbaikan aspek mekanik (probe/kabel)	2	40%	Perlu penguatan konektor dan standarisasi warna kabel

Tabel 1 menunjukkan bahwa sebesar 80% responden menyatakan sistem dapat dioperasikan dengan lancar tanpa kendala signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa desain antarmuka, alur pengoperasian, serta integrasi antar komponen telah memenuhi aspek keterpakaian dasar (*usability*). Tingginya persentase responden yang tidak mengalami kesulitan berarti (60%) memperkuat bahwa sistem dapat digunakan secara mandiri sesuai prosedur pada buku panduan.

Namun demikian, terdapat 20% responden yang mengalami kendala pada tahap pemasangan sensor. Kendala ini terutama disebabkan oleh kurang jelasnya visualisasi sensor pada buku panduan. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan yang muncul bukan berasal dari aspek teknis sistem, melainkan dari aspek dokumentasi dan penyajian informasi. Oleh karena itu,

penyempurnaan dokumentasi teknis menjadi bagian penting dalam pengembangan lanjutan.

Selain itu, 40% responden memberikan saran perbaikan pada aspek mekanik, seperti penguatan konektor dan standarisasi warna kabel. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor ergonomi dan kejelasan visual wiring memiliki peran penting dalam meningkatkan kenyamanan penggunaan, khususnya dalam konteks pembelajaran praktikum.

Untuk memperoleh gambaran yang lebih sistematis, masukan pengguna selanjutnya dikategorikan berdasarkan aspek evaluasi yang relevan, yaitu keterpakaian sistem, dokumentasi teknis, aspek mekanis, dan visualisasi informasi. Pengelompokan ini bertujuan untuk mempermudah identifikasi pola temuan serta menentukan prioritas perbaikan pada tahap pengembangan berikutnya. Kategorisasi hasil evaluasi pengguna disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori Masukan Pengguna

Kategori	Deskripsi Temuan	Implikasi Perbaikan
Keterpakaian (Usability)	Mayoritas responden menyatakan alat dapat dioperasikan dengan lancar	Sistem dinilai layak digunakan dalam praktikum
Dokumentasi Teknis	Beberapa responden mengalami kebingungan pada pemasangan sensor karena ilustrasi kurang jelas	Revisi buku panduan dengan gambar yang lebih representatif
Aspek Mekanis	Terdapat saran penguatan konektor dan penyesuaian warna kabel	Perbaikan ergonomi dan standarisasi wiring
Visualisasi Informasi	Tampilan data dinilai cukup jelas	Tidak memerlukan perubahan signifikan

Berdasarkan kategorisasi masukan pengguna, aspek keterpakaian sistem berada pada kategori tinggi. Mayoritas responden mampu mengoperasikan alat secara mandiri tanpa intervensi langsung dari pengembang. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi fungsi dasarnya sebagai media pembelajaran yang dapat digunakan secara langsung oleh mahasiswa.

Pada kategori dokumentasi teknis, ditemukan bahwa beberapa responden mengalami kebingungan akibat ilustrasi sensor yang kurang representatif. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas dokumentasi memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas penggunaan alat. Dalam konteks pembelajaran vokasi, dokumentasi yang jelas menjadi faktor kunci karena mahasiswa dituntut memahami prosedur teknis secara mandiri.

Kategori aspek mekanis menunjukkan bahwa walaupun sistem telah berfungsi dengan baik secara elektronik, penyempurnaan pada tata letak kabel dan penguatan konektor masih diperlukan. Perbaikan ini diharapkan dapat meningkatkan durabilitas sistem serta meminimalkan potensi kesalahan pemasangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merealisasikan sistem monitoring parameter lingkungan berbasis IoT yang terintegrasi dalam satu platform multi-sensor menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem mampu mengukur dan menampilkan intensitas cahaya, kecepatan angin, serta curah hujan secara waktu nyata melalui tampilan lokal dan dashboard daring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah dilakukan konversi dan kalibrasi linier, pembacaan sensor memiliki tingkat kesalahan relatif yang rendah dan memadai untuk kebutuhan pembelajaran.

Dari sisi fungsional, sistem menunjukkan stabilitas operasional yang baik serta kemudahan penggunaan dalam lingkungan laboratorium. Integrasi akuisisi data, pemrosesan, dan visualisasi dalam satu sistem utuh mendukung pemahaman mahasiswa terhadap konsep sistem tertanam dan IoT secara kontekstual.

Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan pada aspek presisi pengukuran yang belum setara dengan instrumen profesional serta belum tersedianya mekanisme pencatatan data jangka panjang. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada peningkatan metode kalibrasi, integrasi data logging berbasis cloud, dan penguatan modul praktikum terstruktur untuk mendukung implementasi pembelajaran yang lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada program studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Lampung atas dukungan dan kontribusi selama proses pelaksanaan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari pengembangan kegiatan akademik dan pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Rosi and I. J. Mm, "IoT-Based Weather Monitoring System in Coban Binangun Tourism," 2022.
- [2] M. Nizam, H. Yuana, F. T. Informasi, and U. Islam Blitar, "Mikrokontroler ESP32 sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web," vol. 6, no. 2, pp. 767–772, 2022.
- [3] A. Potensi, E. Terbarukan, D. I. Kabupaten, and P. P. Barat, "Analisa potensi energi terbarukan di Kabupaten Kaimana Provinsi Papua Barat," Jurnal Energi Terbarukan, 2023.
- [4] R. Intan, P. Nur, R. Alham, and T. Diwa, "Kajian Potensi Energi Baru Terbarukan untuk Mendukung Transisi Energi di Kota Samarinda," 2025.
- [5] R. Kania, W. Gunawan, T. I. Solihati, N. Hidayanti, and A. Miftach, "Sistem Monitoring Deteksi Cuaca Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 7, no. 2, pp. 153–163, 2024.
- [6] T. Sugiyanto, A. Fahmi, and R. Nalandari, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Cuaca Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [7] A. Sholichin et al., "Prototipe Sistem Monitoring Cuaca dan Peringatan Dini Hujan Berbasis Internet of Things," vol. 15, no. 1, pp. 1–13, 2025.
- [8] R. A. Nanda and F. M. Dewadi, "Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH1750 Berbasis

Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang,” vol. 5, no. 1, pp. 74–81, 2022.

- [9] I. Utama, M. A. Malelak, I. O. Laleb, and A. Nomleni, “Pembuatan Sistem Monitoring Intensitas Curah Hujan Berbasis Internet of Things (IoT),” pp. 42–51, 2024.
- [10] D. A. N. Kelembaban et al., “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Intensitas Cahaya, Suhu, dan Kelembaban Ruangan Berbasis Sensor DHT11 dan BH1750,” vol. 10, no. 1, pp. 37–42, 2024.
- [11] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [12] M. Nizam et al., “Mikrokontroler ESP32 sebagai Sistem Monitoring Berbasis Web,” 2022.
- [13] D. M. Rahma et al., “Aplikasi Sensor Cahaya BH1750 Menggunakan ESP32 Berbasis IoT,” 2025.
- [14] A. Fahriannur et al., “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kecepatan Angin,” 2024.
- [15] I. Utama et al., “Sistem Monitoring Intensitas Curah Hujan Berbasis IoT,” 2024.
- [16] R. Boylestad, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 2013.
- [17] S. Li et al., “Development of Web-Based IoT Monitoring Dashboard,” *IEEE Access*, 2020.