

Dashboard IoT untuk Real-Time Monitoring Berbasis Node-RED dengan JSON dan Edge Computing pada Raspberry Pi

¹⁾ Luh Putu Ary Sri Tjahyanti, ²⁾ Putu Aditya Pratama, ³⁾ Putu Shantiawan Prabawa, ⁴⁾ Made Santo Gitakarma

^{1,2,3} Universitas Panji Sakti, Singaraja, Bali, Indonesia

⁴ Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Bali, Indonesia

E-Mail: ary.tjahyanti@unipas.ac.id¹, aditya@unipas.ac.id², putushantiawan@gmail.com³, santo@undiksha.ac.id⁴

Abstract. The development of the Internet of Things (IoT) has enabled the implementation of real-time environmental monitoring systems in various sectors, including education. However, many schools still rely on manual facility monitoring, resulting in underutilized monitoring data. This study aims to develop and implement an IoT-based monitoring dashboard using Node-RED with JSON data exchange on a RASPBERRY Pi as an edge computing device to support real-time monitoring of school facilities at SMK Negeri 2 Seririt. The research adopts an applied research approach using a system engineering method that includes requirements analysis, system design, implementation, and system performance evaluation. The developed system utilizes Raspberry Pi as the edge device, Node-RED as the data integration platform, and a web-based dashboard for visualizing sensor data. The testing results show that the system achieves a data processing success rate of 98% with an average response time of 2.1 seconds, and reduces manual monitoring activities by approximately 35%. The contribution of this study lies in the development of an edge computing-based IoT monitoring dashboard and its direct implementation in a school environment, supporting data-driven smart school initiatives.

Keyword : Internet of Things, Node-RED, Raspberry Pi, Edge Computing, Real-Time Monitoring

Abstrak. Perkembangan *Internet of Things* (IoT) telah memungkinkan implementasi sistem pemantauan lingkungan secara *real-time* di berbagai sektor, termasuk pendidikan. Namun, banyak sekolah masih mengandalkan pemantauan fasilitas secara manual sehingga data monitoring belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan *dashboard* monitoring berbasis IoT menggunakan Node-RED dengan pertukaran data JSON pada Raspberry Pi sebagai perangkat *edge computing* untuk mendukung pemantauan fasilitas sekolah secara *real-time* di SMK Negeri 2 Seririt. Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian terapan dengan metode rekayasa sistem yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan evaluasi kinerja sistem. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan Raspberry Pi sebagai perangkat *edge*, Node-RED sebagai platform integrasi data, serta *dashboard* berbasis web untuk visualisasi data sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mencapai tingkat keberhasilan pemrosesan data sebesar 98% dengan rata-rata waktu respons 2,1 detik, serta mampu mengurangi aktivitas monitoring manual sekitar 35%. Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan *dashboard* monitoring IoT berbasis *edge computing* dan implementasinya secara langsung di lingkungan sekolah guna mendukung inisiatif *smart school* berbasis data.

Kata Kunci: Internet of Things, Node-RED, Raspberry Pi, Edge Computing, Monitoring Real-Time



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dalam beberapa tahun terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor, seperti industri, kesehatan, pertanian, transportasi, dan pendidikan. IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik yang dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan sistem komputasi untuk saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan, mengirim, dan memproses data secara otomatis [1]. Melalui integrasi perangkat sensor dengan sistem komputasi, data lingkungan dapat dipantau secara real-time dan dimanfaatkan untuk mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data. Penerapan teknologi IoT juga memungkinkan terciptanya sistem monitoring yang lebih efisien, adaptif, serta mampu memberikan informasi kondisi lingkungan secara cepat dan akurat [2].

Dalam sektor pendidikan, pemanfaatan IoT mulai berkembang untuk mendukung konsep smart school, yaitu pendekatan pengelolaan lingkungan pendidikan yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi operasional, kualitas lingkungan belajar, serta efektivitas pengelolaan fasilitas sekolah [3]. Melalui sistem monitoring berbasis IoT, berbagai parameter lingkungan seperti suhu ruangan, kelembapan udara, kualitas udara, tingkat pencahayaan, serta kondisi fasilitas sekolah dapat dipantau secara real-time sehingga membantu pengelola sekolah dalam menjaga kenyamanan dan keamanan lingkungan belajar [4]. Selain itu, data yang diperoleh dari sistem monitoring dapat digunakan sebagai dasar analisis untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan fasilitas pendidikan.

Meskipun teknologi IoT menawarkan berbagai keunggulan dalam pemantauan lingkungan, implementasi sistem monitoring di lingkungan sekolah masih menghadapi beberapa kendala. Banyak sekolah masih melakukan pemantauan fasilitas secara manual melalui pemeriksaan langsung oleh petugas atau menggunakan sistem yang belum terintegrasi secara menyeluruh. Kondisi ini menyebabkan data monitoring tidak terdokumentasi secara sistematis dan sulit dianalisis secara komprehensif. Selain itu, keterbatasan sistem visualisasi data yang informatif dan mudah digunakan juga menjadi salah satu faktor yang menghambat pemanfaatan data monitoring sebagai dasar pengambilan keputusan operasional di lingkungan sekolah [5].

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem monitoring yang lebih terintegrasi, berbagai penelitian telah mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor lingkungan dan jaringan komunikasi untuk mengirimkan data ke server pusat. Sebagian besar penelitian tersebut menggunakan pendekatan cloud-based architecture untuk menyimpan dan memproses data sensor secara terpusat [6]. Pendekatan ini memiliki keunggulan dalam hal skalabilitas dan kemudahan pengelolaan data, namun juga memiliki beberapa keterbatasan seperti ketergantungan pada koneksi internet yang stabil, potensi peningkatan latensi komunikasi, serta keterlambatan dalam pemrosesan data real-time. Dalam beberapa kasus, keterlambatan pemrosesan data dapat mempengaruhi kecepatan respon sistem monitoring terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, konsep edge computing mulai banyak diterapkan dalam sistem IoT modern. Edge computing merupakan pendekatan komputasi yang memungkinkan proses pengolahan data dilakukan lebih dekat dengan sumber data atau perangkat sensor sehingga dapat mengurangi latensi komunikasi, meningkatkan efisiensi penggunaan bandwidth, serta meningkatkan keandalan sistem monitoring [7]. Dengan memanfaatkan pendekatan ini, data sensor dapat diproses secara lokal sebelum dikirimkan ke server pusat atau cloud sehingga sistem monitoring dapat memberikan respon yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Dalam implementasi sistem IoT berbasis edge computing, perangkat Raspberry Pi sering digunakan sebagai edge device karena memiliki kemampuan komputasi yang memadai, biaya yang relatif rendah, serta fleksibilitas tinggi dalam integrasi dengan berbagai sensor dan platform perangkat lunak [8]. Raspberry Pi juga mendukung berbagai sistem operasi berbasis Linux serta mampu menjalankan berbagai aplikasi IoT seperti server lokal, broker komunikasi, maupun sistem pengolahan data sensor. Dengan kemampuan tersebut, Raspberry Pi menjadi salah satu



perangkat yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT pada berbagai bidang aplikasi.

Selain perangkat keras, platform perangkat lunak juga memiliki peran penting dalam pengembangan sistem IoT. Salah satu platform yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem IoT adalah Node-RED, yaitu lingkungan pemrograman berbasis flow-based programming yang memungkinkan pengguna mengintegrasikan berbagai perangkat IoT, layanan web, serta sistem database melalui antarmuka visual [9]. Node-RED menyediakan berbagai modul yang mendukung integrasi protokol komunikasi IoT seperti HTTP, MQTT, dan WebSocket serta menyediakan fitur dashboard yang memungkinkan visualisasi data sensor secara real-time melalui antarmuka berbasis web.

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT dengan memanfaatkan Node-RED dan Raspberry Pi, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan prototipe sistem atau pengujian dalam skala terbatas. Selain itu, beberapa penelitian masih menempatkan pemrosesan data pada server cloud sehingga belum sepenuhnya memanfaatkan pendekatan edge computing untuk meningkatkan efisiensi sistem monitoring. Implementasi sistem monitoring IoT yang diuji secara langsung pada lingkungan operasional sekolah juga masih relatif terbatas sehingga diperlukan penelitian yang mampu mengembangkan sistem monitoring IoT yang lebih aplikatif dan mudah digunakan oleh pengguna non-teknis seperti guru dan tenaga teknis sekolah [10].

Berdasarkan kajian terhadap penelitian sebelumnya, dapat diidentifikasi beberapa celah penelitian (research gap) yang masih perlu dikembangkan. Pertama, sebagian besar penelitian masih menggunakan arsitektur berbasis cloud sehingga belum memanfaatkan pendekatan edge computing secara optimal untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan data sensor. Kedua, implementasi sistem monitoring IoT yang diuji secara langsung pada lingkungan operasional sekolah masih terbatas sehingga tingkat keterterapan sistem dalam kondisi nyata belum banyak dikaji. Ketiga, masih diperlukan sistem dashboard monitoring yang mampu menyajikan data sensor secara real-time, informatif, dan mudah digunakan oleh pengguna non-teknis.

Berdasarkan permasalahan dan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan dashboard monitoring IoT berbasis Node-RED dengan pertukaran data JSON pada Raspberry Pi sebagai perangkat edge computing untuk mendukung pemantauan fasilitas sekolah secara real-time di SMK Negeri 2 Seririt.

Kontribusi utama penelitian ini meliputi:

- 1) Pengembangan dashboard monitoring IoT berbasis Node-RED yang mampu menampilkan data sensor secara real-time melalui antarmuka web.
- 2) Pemanfaatan Raspberry Pi sebagai edge device untuk memproses data sensor secara lokal menggunakan pendekatan edge computing.
- 3) Implementasi dan evaluasi sistem monitoring IoT secara langsung pada lingkungan sekolah nyata, sehingga menghasilkan sistem monitoring yang aplikatif dan mudah digunakan oleh pengguna non-teknis.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem monitoring IoT berbasis edge computing yang lebih efisien, aplikatif, serta mendukung penerapan konsep smart school berbasis data di lingkungan pendidikan.

METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian terapan (applied research) yang bertujuan menghasilkan solusi teknologi yang dapat digunakan secara langsung untuk menyelesaikan permasalahan nyata di lingkungan operasional. Penelitian terapan berfokus pada pengembangan dan implementasi teknologi untuk meningkatkan efektivitas suatu sistem atau proses tertentu [11].



Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rekayasa sistem (system engineering approach). Pendekatan ini banyak digunakan dalam pengembangan sistem teknologi informasi dan IoT karena memungkinkan proses pengembangan sistem dilakukan secara terstruktur melalui beberapa tahapan mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi sistem yang dikembangkan [12]. Dalam penelitian ini, pendekatan rekayasa sistem digunakan untuk merancang dan mengimplementasikan dashboard monitoring Internet of Things (IoT) berbasis Node-RED dengan pemanfaatan Raspberry Pi sebagai perangkat edge computing.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMK Negeri 2 Seririt, Kabupaten Buleleng, Bali. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada kebutuhan sekolah terhadap sistem monitoring fasilitas yang mampu menyediakan informasi kondisi lingkungan secara real-time serta mendukung pengelolaan fasilitas sekolah berbasis teknologi.

Pelaksanaan penelitian berlangsung selama enam bulan, yang meliputi tahapan analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi perangkat IoT, pengujian sistem, serta evaluasi kinerja sistem monitoring yang dikembangkan.

3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam pengembangan sistem monitoring IoT dilakukan secara sistematis berdasarkan pendekatan rekayasa sistem. Secara umum tahapan penelitian terdiri dari analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi sistem, pengujian sistem, dan evaluasi sistem.

a. Analisis Kebutuhan

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi sistem monitoring yang telah berjalan di lingkungan sekolah serta menentukan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan. Pada tahap ini dilakukan observasi dan wawancara dengan pihak sekolah untuk mengetahui kebutuhan pengguna terhadap sistem monitoring fasilitas berbasis IoT. Analisis kebutuhan juga mencakup identifikasi parameter lingkungan yang akan dimonitor seperti suhu, kelembapan, serta kondisi fasilitas sekolah.

b. Perancangan/Desain Sistem

a) Arsitektur Sistem IoT

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan pendekatan edge computing. Arsitektur sistem dirancang secara terintegrasi yang terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu perception layer, processing layer, dan application layer.

1. Perception Layer (Lapisan Sensor): Lapisan ini berfungsi sebagai pengumpul data dari lingkungan menggunakan berbagai sensor.
2. Processing Layer (Edge Computing): Lapisan ini menggunakan Raspberry Pi sebagai perangkat edge yang berfungsi untuk menerima, memproses, dan mengelola data sensor secara lokal menggunakan Node-RED.
3. Application Layer (Dashboard Monitoring): Lapisan ini berfungsi untuk menampilkan data dalam bentuk visualisasi melalui dashboard berbasis web secara real-time.

Arsitektur ini memungkinkan sistem melakukan pemrosesan data secara lokal sehingga dapat mengurangi latensi dan meningkatkan efisiensi sistem monitoring dibandingkan arsitektur berbasis cloud.





Gambar 1. Arsitektur sistem IoT berbasis Raspberry Pi dan Node-RED untuk monitoring fasilitas sekolah secara real-time.

b) Diagram Arsitektur Sistem

Diagram arsitektur sistem menggambarkan alur data mulai dari sensor hingga ditampilkan pada dashboard monitoring. Secara umum, alur sistem adalah sebagai berikut:

1. Sensor membaca kondisi lingkungan
2. Data dikirim ke Raspberry Pi
3. Data diproses menggunakan Node-RED
4. Data ditampilkan pada dashboard secara real-time

Sistem ini dirancang menggunakan konsep edge computing, di mana pemrosesan data dilakukan pada Raspberry Pi sebelum ditampilkan ke pengguna.

c) Jenis Sensor yang Digunakan

Sistem monitoring yang dikembangkan menggunakan beberapa sensor untuk mengukur kondisi lingkungan sekolah, yaitu:

1. Sensor DHT11/DHT22
Digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan banyak digunakan dalam sistem monitoring lingkungan berbasis IoT.
2. Sensor MQ-135
Digunakan untuk mendeteksi kualitas udara, seperti gas CO₂ dan polutan lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas lingkungan belajar.
3. Sensor LDR (Light Dependent Resistor)
Digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dalam ruangan.

Pemilihan sensor tersebut didasarkan pada kebutuhan monitoring lingkungan sekolah yang meliputi suhu, kelembapan, kualitas udara, dan pencahayaan.

d) Protokol Komunikasi Sistem

Dalam sistem IoT yang dikembangkan, digunakan beberapa protokol komunikasi untuk memastikan pertukaran data berjalan secara efisien dan real-time.

1. HTTP (Hypertext Transfer Protocol)
HTTP digunakan untuk komunikasi antara sistem dan dashboard berbasis web. Data yang telah diproses oleh Node-RED dapat diakses melalui HTTP sehingga pengguna dapat melihat informasi monitoring melalui browser.
2. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)
MQTT merupakan protokol komunikasi ringan yang digunakan untuk mengirim data dari sensor ke Raspberry Pi. MQTT menggunakan mekanisme publish-subscribe, sehingga efisien dalam penggunaan bandwidth dan cocok untuk sistem IoT dengan kebutuhan real-time.
3. WebSocket

WebSocket digunakan untuk komunikasi dua arah antara server dan client secara real-time. Protokol ini memungkinkan dashboard memperbarui data secara langsung tanpa perlu melakukan refresh halaman.

e) Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem monitoring IoT dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sensor membaca data lingkungan secara periodik
2. Data dikirim menggunakan protokol MQTT ke Raspberry Pi
3. Node-RED memproses data dalam format JSON
4. Data disimpan sementara dan dikirim ke dashboard
5. Dashboard menampilkan data secara real-time menggunakan WebSocket/HTTP

Dengan alur ini, sistem mampu memberikan informasi kondisi lingkungan secara cepat, akurat, dan mudah dipahami oleh pengguna.

Penggunaan Raspberry Pi sebagai edge device memungkinkan pemrosesan data dilakukan secara lokal sehingga dapat mengurangi latensi komunikasi dan meningkatkan efisiensi sistem monitoring IoT [13].

c. Implementasi Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat sensor dengan Raspberry Pi yang menjalankan platform Node-RED sebagai sistem pengolahan data. Data sensor dikirimkan menggunakan format JavaScript Object Notation (JSON) yang memiliki struktur data ringan dan mudah diintegrasikan dengan berbagai sistem IoT [14].

Node-RED digunakan untuk mengelola alur pemrosesan data sensor melalui pendekatan flow-based programming, sehingga memungkinkan integrasi perangkat IoT dan visualisasi data dilakukan secara lebih sederhana dan fleksibel [15].

d. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring IoT yang dikembangkan. Pengujian sistem meliputi beberapa aspek utama, yaitu:

- a) Keberhasilan transmisi data sensor: Mengukur kemampuan sistem dalam menerima dan memproses data sensor tanpa kehilangan data.
- b) Waktu respon sistem: Mengukur selang waktu antara data dikirim oleh sensor hingga ditampilkan pada dashboard.
- c) Stabilitas sistem monitoring: Mengukur kemampuan sistem dalam beroperasi secara kontinu tanpa gangguan.
- d) Kecepatan pemrosesan data: Mengukur waktu yang dibutuhkan oleh Node-RED dalam memproses data sensor.

Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan apakah sistem telah memenuhi kriteria real-time monitoring.

e. Evaluasi Sistem

Evaluasi berbasis pengguna dilakukan untuk mengetahui persepsi pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Evaluasi dilakukan menggunakan kuesioner skala Likert (1–5). Metode ini banyak digunakan dalam penelitian sistem informasi untuk mengukur persepsi pengguna terhadap kualitas suatu sistem teknologi [16].

1. Jumlah Responden

Jumlah responden dalam penelitian ini adalah 20 orang, yang terdiri dari: guru, teknisi sekolah, tenaga kependidikan.

2. Skala Penilaian Likert

Kuesioner menggunakan skala Likert 5 tingkat sebagai berikut:

Skor	Kategori
1	Sangat Tidak Setuju
2	Tidak Setuju



3	Cukup
4	Setuju
5	Sangat Setuju

3. Perhitungan Skor Likert

Nilai rata-rata skor Likert dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

Keterangan:

\bar{X} = rata-rata skor

$\sum X$ = total skor seluruh responden

N = jumlah responden

Hasil rata-rata kemudian dikategorikan sebagai berikut:

Rentang Nilai	Kategori
4.21 – 5.00	Sangat Baik
3.41 – 4.20	Baik
2.61 – 3.40	Cukup
1.81 – 2.60	Kurang
1.00 – 1.80	Sangat Kurang

4. Analisis Statistik Sederhana

Untuk memperkuat hasil evaluasi, digunakan analisis statistik sederhana berupa:

- Rata-rata (Mean): Digunakan untuk mengetahui tingkat penilaian keseluruhan terhadap sistem.
- Persentase (%): Digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem
- Distribusi Frekuensi: Digunakan untuk melihat sebaran jawaban responden terhadap setiap indikator kuesioner.

Analisis ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai kinerja sistem serta tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan.

Evaluasi sistem dilakukan berdasarkan beberapa indikator utama, yaitu:

- Kinerja Sistem: Keberhasilan sistem dalam memproses data, waktu respon, dan stabilitas.
- Efektivitas Sistem: Kemampuan sistem dalam membantu proses monitoring fasilitas sekolah.
- Efisiensi Sistem: Pengurangan aktivitas monitoring manual dan efisiensi waktu pemantauan.
- Kepuasan Pengguna: Tingkat kepuasan pengguna terhadap kemudahan penggunaan dan manfaat sistem.
- Keterterapan Sistem: Kelayakan sistem untuk digunakan secara berkelanjutan di lingkungan sekolah.

Tahapan penelitian dapat digambarkan sebagai berikut





Gambar 2. Diagram alur tahapan penelitian pada pengembangan dashboard monitoring IoT berbasis Node-RED dan Raspberry Pi.

f. Metode Analisis Data dan Teknik

Pengumpulan dan analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara terintegrasi untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring Internet of Things (IoT) yang dikembangkan. Teknik pengumpulan data meliputi observasi, wawancara, dokumentasi, pengambilan data sensor, dan penyebaran kuesioner, sedangkan analisis data dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan kualitatif.

4.1 Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi

Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi awal sistem monitoring fasilitas sekolah serta mengamati perubahan setelah sistem IoT diimplementasikan. Observasi difokuskan pada proses monitoring, penggunaan sistem, serta kondisi lingkungan yang diamati.

2. Wawancara

Wawancara dilakukan kepada guru dan tenaga teknis sekolah untuk memperoleh informasi mengenai kebutuhan sistem, kendala yang dihadapi, serta evaluasi terhadap sistem yang dikembangkan.

3. Dokumentasi

Dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data pendukung seperti kondisi fasilitas sekolah, konfigurasi sistem, serta hasil implementasi sistem monitoring IoT.

4. Pengambilan Data Sensor

Data sensor dikumpulkan secara langsung dari perangkat IoT yang terhubung dengan Raspberry Pi. Data tersebut digunakan untuk menguji kinerja sistem dalam memproses dan menampilkan data secara real-time.

5. Kuesioner

Kuesioner digunakan untuk mengevaluasi persepsi pengguna terhadap sistem monitoring yang dikembangkan. Responden dalam penelitian ini berjumlah 20 orang yang terdiri dari guru, teknisi sekolah, dan tenaga kependidikan di SMK Negeri 2 Seririt.

Metode sampling yang digunakan adalah purposive sampling, yaitu pemilihan responden berdasarkan kriteria:

- a. terlibat langsung dalam penggunaan sistem
- b. memahami proses monitoring fasilitas sekolah
- c. menggunakan dashboard dalam aktivitas operasional



Instrumen kuesioner disusun menggunakan skala Likert (1–5) yang mencakup aspek: kinerja sistem, efektivitas, efisiensi, kepuasan pengguna, dan keterapan sistem.

4.2 Metode Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan analisis deskriptif kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring IoT yang dikembangkan.

1) Analisis Tingkat Keberhasilan Sistem

Tingkat keberhasilan sistem dihitung berdasarkan persentase keberhasilan sistem dalam menerima dan memproses data sensor yang dikirimkan oleh perangkat monitoring. Persentase keberhasilan sistem dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah data berhasil diproses}}{\text{Jumlah total data yang dikirim}} \times 100\%$$

Metode ini digunakan untuk mengukur reliabilitas sistem dalam memproses data sensor pada sistem monitoring IoT [17].

2) Analisis Efisiensi Monitoring

Efisiensi sistem monitoring dihitung dengan membandingkan jumlah aktivitas monitoring manual sebelum dan sesudah penerapan sistem IoT.

Efisiensi Monitoring

$$= \frac{\text{Aktivitas manual sebelum} - \text{Aktivitas manual sesudah}}{\text{Aktivitas manual sebelum}} \times 100\%$$

Analisis ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana sistem monitoring IoT mampu meningkatkan efisiensi proses pemantauan fasilitas sekolah.

3) Analisis Kepuasan Pengguna

Data hasil kuesioner dianalisis menggunakan nilai rata-rata skor Likert untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem monitoring yang dikembangkan.

5. Diagram Alir Penelitian

Gambar tersebut menunjukkan alur proses pengembangan dan implementasi sistem monitoring yang dimulai dari tahap awal hingga sistem dinyatakan berhasil. Proses diawali dari tahap mulai, kemudian dilanjutkan dengan penentuan objectives (tujuan penelitian) sebagai dasar pengembangan sistem.

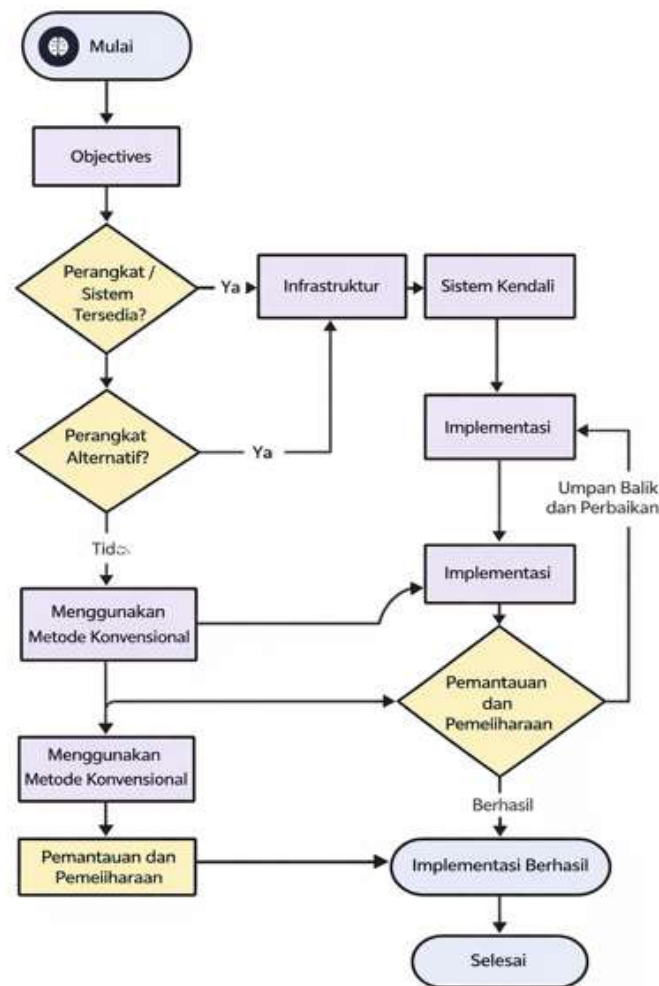
Selanjutnya dilakukan tahap pengecekan perangkat sistem, yaitu memastikan ketersediaan perangkat yang dibutuhkan. Jika perangkat tersedia, proses dilanjutkan ke tahap infrastruktur dan sistem kendali, kemudian masuk ke tahap implementasi sistem.

Pada tahap implementasi, sistem mulai diterapkan dan dilakukan proses pemantauan serta perbaikan secara bertahap untuk memastikan sistem berjalan dengan baik. Jika sistem belum optimal, maka dilakukan evaluasi dan perbaikan hingga mencapai kondisi yang diharapkan.

Namun, apabila perangkat tidak tersedia pada tahap awal, maka sistem akan menggunakan metode konvensional sebagai alternatif. Proses ini tetap diikuti dengan tahap pemantauan dan pemeliharaan.

Setelah sistem berjalan dengan baik dan memenuhi kriteria yang telah ditentukan, maka dilakukan tahap implementasi berhasil, yang menandakan bahwa sistem telah berfungsi sesuai tujuan penelitian. Proses diakhiri dengan tahap selesai.





Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini diperoleh melalui proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Node-RED pada Raspberry Pi sebagai perangkat edge computing. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memproses data sensor, waktu respon, serta efektivitas monitoring fasilitas sekolah. Selain itu, evaluasi juga dilakukan terhadap persepsi pengguna melalui kuesioner untuk mengetahui tingkat kepuasan dan keterterapan sistem. Hasil pengujian dan evaluasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara real-time dengan kinerja yang baik dan tingkat penerimaan pengguna yang tinggi.

1.1 Hasil Pengujian Sistem

Hasil pengujian sistem diperoleh dari proses implementasi dan pengujian sistem monitoring Internet of Things (IoT) berbasis Node-RED pada Raspberry Pi yang dilakukan di SMK Negeri 2 Seririt. Pengujian dilakukan sebanyak 50 kali siklus pengiriman data sensor untuk mengukur kinerja sistem dalam kondisi operasional.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan pemrosesan data sebesar 98%, yang berarti dari total pengujian yang dilakukan, sebanyak 49 data berhasil diproses dengan baik dan 1 data mengalami kegagalan. Selain itu, sistem memiliki waktu respon rata-rata sebesar 2,1 detik, yang masih termasuk dalam kategori real-time monitoring.

Kehilangan data sebesar 2% disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Ketidakstabilan koneksi jaringan (WiFi) pada tahap awal implementasi



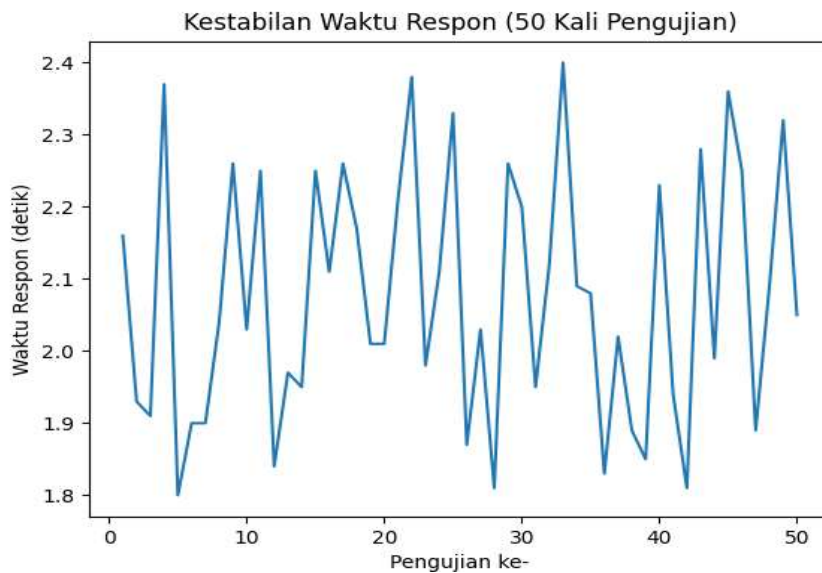
2. Delay komunikasi MQTT saat pengiriman data sensor secara bersamaan
3. Proses inialisasi Node-RED yang belum optimal pada awal pengujian
4. Buffer data pada Raspberry Pi yang menyebabkan keterlambatan sementara

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem

No	Aspek Evaluasi	Indikator Pengukuran	Hasil	Kategori
1	Koneksi Sensor	Keberhasilan koneksi sensor ke sistem	100%	Sangat Baik
2	Pemrosesan Data	Keberhasilan pemrosesan data (berhasil 98%, data loss 2%)	98%	Sangat Baik
3	Waktu Respon Sistem	Rata-rata waktu respon dari sensor ke dashboard (kategori real-time)	2,1 detik	Sangat Baik
4	Kecepatan Pemrosesan	Waktu pemrosesan data pada Node-RED (rata-rata)	< 1 detik	Sangat Baik
5	Stabilitas Sistem	Interval pengiriman data tanpa gangguan (rentang waktu pengiriman data)	5–10 detik	Stabil
6	Efisiensi Monitoring	Pengurangan aktivitas monitoring manual setelah implementasi sistem	± 35%	Baik

1.2 Visualisasi Performa Sistem

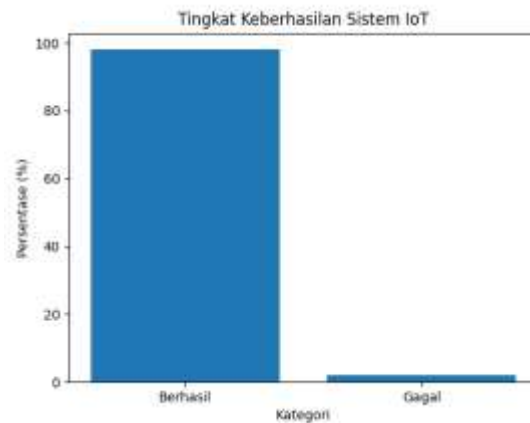
Untuk memperjelas hasil pengujian sistem, performa sistem dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik kestabilan waktu respon sistem hasil pengujian sebanyak 50 kali yang menunjukkan konsistensi performa sistem dalam memenuhi kriteria real-time monitoring.

Berdasarkan grafik, waktu respon sistem berada pada rentang sekitar 1,8 hingga 2,4 detik. Fluktuasi nilai waktu respon terlihat pada setiap pengujian, namun perubahan tersebut masih dalam batas yang relatif stabil dan tidak menunjukkan lonjakan ekstrem.

Secara keseluruhan, rata-rata waktu respon sistem berada di sekitar 2,1 detik, yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respon yang cepat dan konsisten. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem monitoring yang dikembangkan telah memenuhi kriteria real-time monitoring, karena mampu memproses dan menampilkan data dalam waktu yang singkat.



Gambar 5. Grafik tingkat keberhasilan sistem monitoring IoT yang menunjukkan 98% data berhasil diproses dan 2% mengalami kegagalan

1.3 Hasil Evaluasi Kuesioner Pengguna

Berdasarkan hasil evaluasi kuesioner yang melibatkan 20 responden, diperoleh nilai rata-rata skor pada seluruh indikator berada pada rentang 4,3 hingga 4,6 dari skala Likert 1–5. Secara keseluruhan, nilai tersebut termasuk dalam kategori “Sangat Baik”, yang menunjukkan bahwa sistem monitoring IoT yang dikembangkan memiliki tingkat penerimaan yang tinggi dari pengguna.

1. Aspek Kinerja Sistem (KS)

Pada aspek kinerja sistem, indikator KS1 hingga KS4 memperoleh nilai rata-rata antara 4,4 hingga 4,6. Hal ini menunjukkan bahwa:

- data sensor dapat ditampilkan dengan baik tanpa kesalahan
- sistem mampu menampilkan data secara real-time
- waktu respon sistem tergolong cepat
- sistem berjalan stabil tanpa gangguan

2. Aspek Efektivitas Sistem (ES)

Pada aspek efektivitas, indikator ES1 hingga ES4 memperoleh nilai rata-rata antara 4,4 hingga 4,6. Hasil ini menunjukkan bahwa:

- dashboard memudahkan proses pemantauan fasilitas sekolah
- informasi yang ditampilkan mudah dipahami
- sistem membantu pengambilan keputusan
- sistem sesuai dengan kebutuhan monitoring

3. Aspek Efisiensi Sistem (EF)

Pada aspek efisiensi, indikator EF1 hingga EF3 memperoleh nilai rata-rata antara 4,3 hingga 4,5. Hasil ini menunjukkan bahwa:

- sistem mampu mengurangi kebutuhan monitoring manual
- sistem menghemat waktu dalam proses pemantauan
- sistem mudah dioperasikan tanpa memerlukan keahlian teknis khusus

4. Aspek Kepuasan Pengguna (KP)

Pada aspek kepuasan pengguna, indikator KP1 hingga KP4 memperoleh nilai rata-rata antara 4,4 hingga 4,6. Hal ini menunjukkan bahwa:

- pengguna merasa puas terhadap kinerja sistem
- dashboard mudah digunakan dalam aktivitas sehari-hari
- fitur yang tersedia sesuai kebutuhan
- sistem memberikan manfaat nyata dalam pengelolaan fasilitas sekolah

5. Aspek Keterterapan Sistem (KT)

Pada aspek keterterapan, indikator KT1 hingga KT3 memperoleh nilai rata-rata antara 4,4 hingga 4,6. Hasil ini menunjukkan bahwa:

- sistem dapat digunakan secara berkelanjutan di sekolah



- b) sistem layak diterapkan sebagai solusi monitoring
- c) sistem memiliki potensi untuk direplikasi pada sekolah lain

Tabel 2. Hasil Evaluasi Kuesioner Pengguna

No	Indikator	Pernyataan	Skor Rata-rata	Kategori
1	KS1	Data sensor berhasil ditampilkan pada dashboard tanpa kesalahan	4,6	Sangat Baik
2	KS2	Dashboard menampilkan data secara real-time	4,5	Sangat Baik
3	KS3	Waktu respon sistem cepat saat data diperbarui	4,4	Sangat Baik
4	KS4	Sistem berjalan stabil tanpa gangguan selama digunakan	4,5	Sangat Baik
5	ES1	Dashboard memudahkan pemantauan kondisi fasilitas sekolah	4,6	Sangat Baik
6	ES2	Informasi yang ditampilkan mudah dipahami	4,5	Sangat Baik
7	ES3	Tampilan dashboard membantu pengambilan keputusan	4,4	Sangat Baik
8	ES4	Sistem sesuai dengan kebutuhan monitoring sekolah	4,5	Sangat Baik
9	EF1	Dashboard mengurangi kebutuhan pemantauan manual	4,4	Sangat Baik
10	EF2	Sistem menghemat waktu dalam memantau kondisi fasilitas	4,5	Sangat Baik
11	EF3	Sistem mudah dioperasikan tanpa keahlian teknis khusus	4,3	Sangat Baik
12	KP1	Saya puas dengan kinerja sistem dashboard IoT	4,5	Sangat Baik
13	KP2	Dashboard mudah digunakan dalam aktivitas sehari-hari	4,6	Sangat Baik
14	KP3	Fitur yang tersedia sesuai dengan kebutuhan	4,4	Sangat Baik
15	KP4	Sistem bermanfaat bagi pengelolaan fasilitas sekolah	4,6	Sangat Baik
16	KT1	Sistem dapat digunakan secara berkelanjutan di sekolah	4,5	Sangat Baik
17	KT2	Sistem layak diterapkan sebagai sistem monitoring sekolah	4,6	Sangat Baik
18	KT3	Sistem siap direplikasi pada sekolah lain	4,4	Sangat Baik

2. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan menggunakan Raspberry Pi dan Node-RED mampu bekerja dengan baik dalam mendukung pemantauan fasilitas sekolah secara real-time. Tingkat keberhasilan sistem dalam memproses data mencapai 98%, dengan waktu respon rata-rata sekitar 2,1 detik, serta mampu meningkatkan efisiensi monitoring hingga 35%. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan edge computing yang digunakan mampu meningkatkan kinerja sistem dibandingkan pendekatan konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa



edge computing mampu mengurangi latensi dan meningkatkan kecepatan pemrosesan data pada sistem IoT [18].

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan arsitektur berbasis cloud computing, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki keunggulan dalam hal latensi yang lebih rendah dan respons yang lebih cepat, karena proses pengolahan data dilakukan secara lokal pada perangkat edge (Raspberry Pi). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem berbasis cloud memiliki ketergantungan tinggi terhadap koneksi internet, sehingga dapat menyebabkan keterlambatan dalam pemrosesan data dan penurunan performa sistem [19]. Sementara itu, sistem berbasis edge computing mampu meningkatkan keandalan sistem karena data diproses lebih dekat dengan sumbernya [20]. Selain itu, penggunaan platform Node-RED juga memberikan kemudahan dalam integrasi perangkat IoT melalui pendekatan flow-based programming, yang terbukti efektif dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT [21].

Dibandingkan dengan metode monitoring manual yang masih banyak digunakan di lingkungan sekolah, sistem yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan yang signifikan. Pada metode manual, proses monitoring dilakukan melalui pengecekan langsung oleh petugas, sehingga membutuhkan waktu dan tenaga yang lebih besar serta berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan. Selain itu, data yang diperoleh dari monitoring manual umumnya tidak terdokumentasi dengan baik dan sulit dianalisis secara sistematis. Sebaliknya, sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan secara otomatis dan berkelanjutan, serta menyajikan data dalam bentuk visualisasi yang mudah dipahami melalui dashboard. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa sistem monitoring berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data [22].

Dari sisi pengguna, hasil evaluasi kuesioner menunjukkan bahwa sistem memperoleh nilai rata-rata sebesar 4,50 yang termasuk dalam kategori sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya memiliki kinerja teknis yang baik, tetapi juga mudah digunakan oleh pengguna non-teknis seperti guru dan tenaga kependidikan. Kemudahan penggunaan ini menjadi salah satu faktor penting dalam keberhasilan implementasi sistem di lingkungan sekolah.

Meskipun sistem yang dikembangkan telah menunjukkan kinerja yang baik, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut di masa depan. Pengembangan sistem dapat dilakukan dengan menambahkan integrasi cloud computing untuk penyimpanan data jangka panjang dan analisis data yang lebih kompleks. Selain itu, sistem juga dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis berbasis mobile untuk memberikan peringatan secara langsung kepada pengguna ketika terjadi kondisi tertentu.

Selain itu, pengembangan lebih lanjut juga dapat dilakukan dengan meningkatkan skalabilitas sistem agar dapat diterapkan pada lebih banyak lokasi atau sekolah, serta integrasi dengan sistem manajemen sekolah yang lebih luas. Dengan pengembangan tersebut, sistem monitoring IoT ini memiliki potensi untuk menjadi bagian dari implementasi smart school berbasis data yang lebih komprehensif.

Tabel 3. Perbandingan Sistem Monitoring IoT

Aspek	Penelitian Sebelumnya (Cloud-Based)	Metode Manual	Sistem Usulan (Edge Computing)
Arsitektur Sistem	Berbasis cloud	Tidak terintegrasi	Berbasis edge computing
Waktu Respon	Lebih tinggi (delay jaringan)	Lambat	Cepat ($\pm 2,1$ detik)
Ketergantungan Internet	Tinggi	Tidak ada	Rendah
Pemrosesan Data	Terpusat (server/cloud)	Manual	Lokal (Raspberry Pi)
Monitoring	Semi real-time	Tidak real-time	Real-time
Efisiensi	Sedang	Rendah	Tinggi ($\pm 35\%$)
Visualisasi Data	Terbatas	Tidak ada	Dashboard interaktif



Aspek	Penelitian Sebelumnya (Cloud-Based)	Metode Manual	Sistem Usulan (Edge Computing)
Penyimpanan Data	Cloud storage	Tidak terdokumentasi	Local + database
Kemudahan Penggunaan	Sedang	Sulit	Mudah (Node-RED UI)

Tabel 4. Perbandingan Monitoring Manual dan Sistem IoT

Aspek	Monitoring Manual	Sistem IoT
Metode	Pengecekan langsung	Otomatis berbasis sensor
Waktu	Lama	Cepat (real-time)
Akurasi Data	Subjektif	Objektif (sensor)
Dokumentasi	Tidak tersimpan	Tersimpan sistem
Efisiensi	Rendah	Tinggi
Akses Data	Terbatas	Web & mobile

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Raspberry Pi dan Node-RED berhasil dikembangkan untuk mendukung pemantauan fasilitas sekolah secara real-time dengan tingkat keberhasilan pemrosesan data sebesar 98% dan waktu respon rata-rata sekitar 2,1 detik.
2. Penerapan sistem mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring dengan mengurangi aktivitas pemantauan manual hingga sekitar 35%, serta menyediakan visualisasi data yang informatif dan mudah dipahami oleh pengguna.
3. Hasil evaluasi pengguna menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi dengan nilai rata-rata 4,50 (kategori sangat baik), yang mengindikasikan bahwa sistem mudah digunakan dan sesuai dengan kebutuhan operasional di lingkungan sekolah.
4. Sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan secara lebih luas dalam mendukung implementasi konsep smart school berbasis data, terutama melalui pemanfaatan teknologi edge computing yang meningkatkan kecepatan dan keandalan sistem monitoring.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Panji Sakti yang telah memberikan dukungan dan pendanaan melalui program Penelitian Terapan Universitas Panji Sakti, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak SMK Negeri 2 Seririt yang telah bersedia menjadi mitra penelitian serta memberikan dukungan selama proses implementasi dan pengujian sistem.

Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta kontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan penelitian ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Journal of Computer and Communications*, 2021.
- [2] A. Alsharif et al., "IoT-Based Smart Monitoring Systems: Applications and Challenges," *IEEE Access*, 2022.
- [3] M. A. Hossain et al., "Smart School Framework Using IoT Technologies," *Sensors*, 2023.



- [4] S. K. Sharma and X. Wang, "Toward Smart Education: IoT-Based Monitoring Systems," *Education and Information Technologies*, 2022.
- [5] R. Kumar et al., "Challenges in IoT-Based Monitoring Systems," *Future Internet*, 2021.
- [6] Y. Liu et al., "Cloud-Based IoT Monitoring Systems: A Review," *Future Generation Computer Systems*, 2022.
- [7] W. Shi et al., "Edge Computing: Vision and Challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, 2021.
- [8] M. Satyanarayanan, "The Emergence of Edge Computing," *Computer*, 2022.
- [9] D. Atmodjo et al., "Node-RED-Based IoT System Integration and Dashboard Development," *Journal of ICT Research and Applications*, 2023.
- [10] E. Upton, "Raspberry Pi in IoT Applications," *Electronics*, 2022.
- [11] Y. K. Dwivedi et al., "Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary Perspectives," *International Journal of Information Management*, 2021.
- [12] J. Xu et al., "System Engineering Approach in IoT Systems," *IEEE Access*, 2022.
- [13] J. Roostaei et al., "IoT-Based Edge Computing for Environmental Monitoring," *Sensors*, 2023.
- [14] P. P. Ray, "JSON-Based Data Communication in IoT Systems," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 2021.
- [15] A. Faroqi, "Usability Evaluation of Information Systems," *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 2024.
- [16] S. Anita, "Likert Scale Analysis in System Evaluation," *Journal of Smart Computing Systems*, 2025.
- [17] H. Gupta et al., "Reliability Analysis of IoT Systems," *IEEE Access*, 2022.
- [18] J. Xu et al., "Edge Computing for Real-Time IoT Applications," *IEEE Access*, 2024.
- [19] D. Romero et al., "Cloud-Based IoT Monitoring Systems and Limitations," *Results in Engineering*, 2024.
- [20] M. Chiang and T. Zhang, "Fog and Edge Computing in IoT Systems," *IEEE Internet of Things Journal*, 2022.
- [21] M. Blackstock and R. Lea, "IoT Flow-Based Programming Using Node-RED," *Future Internet*, 2021.
- [22] R. Hermawan et al., "IoT Monitoring Systems in Smart Environments," *Sustainable Computing*, 2025.

