



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 2612-2622

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Smart Environment Monitoring System Berbasis IoT pada Ruang Server CCTV Bandara Aek Godang

Muhammad Rohfadli, Efrizon, Mufidatil Nada, Tuti Anggraini

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

rohfadli@pnp.ac.id, efrizonsyofyan@gmail.com

Abstrak

Ruang server CCTV di Bandara Aek Godang merupakan infrastruktur vital yang berperan dalam menjaga keamanan dan kelancaran operasional bandara. Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol, seperti suhu dan kelembapan tinggi, adanya asap atau gas berbahaya, serta beban arus listrik berlebih, berpotensi menyebabkan gangguan sistem hingga kebakaran akibat korsleting. Sistem pemantauan yang masih dilakukan secara manual memiliki keterbatasan dalam mendeteksi perubahan kondisi secara cepat dan real-time. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan Smart Environment Monitoring System berbasis Internet of Things (IoT) sebagai sistem deteksi dini risiko korsleting dan kebakaran pada ruang server CCTV Bandara Aek Godang. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor SHT20 untuk pengukuran suhu dan kelembapan, sensor MQ-2 untuk deteksi gas dan asap, serta sensor PZEM-004T untuk pemantauan arus listrik. Data sensor dikirimkan secara real-time ke Cloud Virtual Private Server (VPS) melalui protokol MQTT dan diproses menggunakan Flask Framework untuk dibandingkan dengan nilai ambang batas serta disimpan ke dalam basis data. Informasi hasil pemantauan ditampilkan melalui aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan MIT App Inventor dan dilengkapi dengan notifikasi peringatan otomatis apabila terjadi kondisi abnormal. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja stabil dengan tingkat keberhasilan transmisi data di atas 95% dan waktu respons kurang dari lima detik. Akurasi sensor berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem dinilai efektif dalam memberikan peringatan dini dan meningkatkan keamanan ruang server CCTV bandara.

Kata kunci: IoT, ESP32, SHT20, MQ-2, PZEM-004T, Monitor Lingkungan

1. Latar Belakang

Ruang server CCTV merupakan pusat pengendalian sistem keamanan bandara yang berperan penting dalam menjaga kestabilan operasional dan keselamatan penerbangan. Keandalan sistem CCTV sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kestabilan arus listrik. Ketidakterkendalian faktor-faktor tersebut dapat menimbulkan gangguan sistem hingga risiko kebakaran akibat korsleting listrik [1], [2].

Di Bandara Aek Godang, sistem pemantauan lingkungan ruang server masih dilakukan secara manual oleh teknisi. Cara ini memiliki keterbatasan karena tidak mampu memberikan deteksi dini terhadap perubahan ekstrem pada suhu, kelembapan, atau arus listrik [3]. Berdasarkan laporan PT Angkasa Pura [4] dan data NFPA (2023) [5], lebih dari 80% kasus kebakaran ruang server disebabkan oleh keterlambatan deteksi awal terhadap peningkatan suhu dan beban listrik berlebih. Hal ini memperkuat urgensi penerapan sistem monitoring otomatis yang mampu bekerja secara real-time dan memberikan early warning system.

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) telah menjadi solusi efektif dalam sistem monitoring modern karena kemampuannya untuk menghubungkan sensor dan perangkat melalui jaringan internet [6], [7]. Dengan integrasi sensor suhu, kelembapan, gas, dan arus listrik, sistem berbasis IoT dapat mengirimkan data ke cloud server untuk dipantau secara jarak jauh melalui aplikasi mobile [8], [9]. Berbagai penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Sari et al. (2021) [10] dan Prabowo (2022) [11], telah menerapkan konsep IoT dalam sistem deteksi kebakaran, namun sebagian besar masih terbatas pada pemantauan tanpa sistem notifikasi berbasis aplikasi.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini merancang Smart Environment Monitoring System berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor SHT20, MQ-2, dan PZEM-004T. Sistem ini terhubung

melalui protokol MQTT dengan Cloud VPS yang dikembangkan menggunakan Flask Framework serta aplikasi mobile berbasis MIT App Inventor. Dengan integrasi ini, sistem mampu melakukan deteksi dini terhadap anomali suhu, kelembapan, arus, dan gas, serta mengirimkan peringatan otomatis kepada petugas melalui aplikasi Android. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengawasan, menekan potensi risiko kebakaran, dan mendukung penerapan standar keamanan ruang server sesuai IEC 62368-1:2023 dan regulasi Kementerian Perhubungan No. 19 Tahun 2017 [12], [13].

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT yang dapat memantau parameter suhu, kelembapan, arus, dan gas secara real-time pada ruang server CCTV Bandara Aek Godang. Sistem ini juga bertujuan menghasilkan aplikasi mobile yang mampu menampilkan data monitoring dan memberikan peringatan dini kepada teknisi apabila terjadi kondisi tidak normal, sehingga dapat meningkatkan efisiensi kerja dan keamanan operasional di lingkungan bandara

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat elektronik melalui jaringan internet untuk bertukar data dan melakukan kontrol otomatis [14]. Teknologi ini memungkinkan sistem pemantauan lingkungan bekerja secara real-time karena setiap sensor dapat mengirimkan informasi ke server pusat tanpa intervensi manual [15]. Dengan dukungan konektivitas nirkabel, IoT dapat mengintegrasikan pengumpulan data, analisis, dan notifikasi dalam satu ekosistem yang terhubung secara efisien. Pada penelitian ini, konsep IoT digunakan untuk mendeteksi kondisi suhu, kelembapan, arus listrik, dan gas pada ruang server CCTV Bandara Aek Godang.

Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan modul utama dalam sistem yang berfungsi sebagai pengendali semua sensor dan pengirim data ke server [16]. ESP32 memiliki prosesor ganda 32-bit, mendukung konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta dilengkapi dengan fitur Analog to Digital Converter (ADC) dan komunikasi UART yang kompatibel dengan berbagai sensor [17]. Keunggulan lainnya adalah efisiensi daya, kecepatan pemrosesan tinggi, serta kestabilan koneksi nirkabel yang sesuai untuk aplikasi IoT skala menengah seperti sistem monitoring lingkungan.



Gambar 1 Mikrokontroler ESP32

Sensor Lingkungan

Penelitian ini menggunakan tiga sensor utama, yaitu SHT20, MQ-2, dan PZEM-004T yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sensor SHT20 berfungsi membaca suhu dan kelembapan dengan akurasi $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 3\%$ RH [18]. Sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi gas mudah terbakar dan asap berbasis perubahan resistansi semikonduktor [19]. Sedangkan sensor PZEM-004T mengukur arus, tegangan, dan daya listrik dengan tingkat kesalahan di bawah 1% [20]. Ketiga sensor tersebut terhubung langsung ke mikrokontroler ESP32 dan berperan sebagai pendeteksi utama terhadap kondisi lingkungan ruang server.



Protokol MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan berbasis publish subscribe yang sering digunakan pada sistem IoT [21]. Protokol ini bekerja dengan mekanisme broker yang menyalurkan pesan dari publisher (ESP32) ke subscriber (server) secara efisien dan cepat. MQTT dipilih karena memiliki kebutuhan bandwidth rendah, keandalan tinggi, dan mendukung komunikasi dua arah secara real-time antara perangkat keras dan server cloud.

Flask Framework

Flask adalah micro web framework berbasis bahasa Python yang digunakan untuk membangun Application Programming Interface (API) pada server Virtual Private Server (VPS) [22]. Flask berfungsi menerima data dari perangkat IoT, menyimpannya ke basis data, serta mengirimkan notifikasi ke aplikasi pengguna. Framework ini dipilih karena ringan, mudah diimplementasikan, dan cocok untuk sistem monitoring berskala kecil hingga menengah seperti pada penelitian ini.

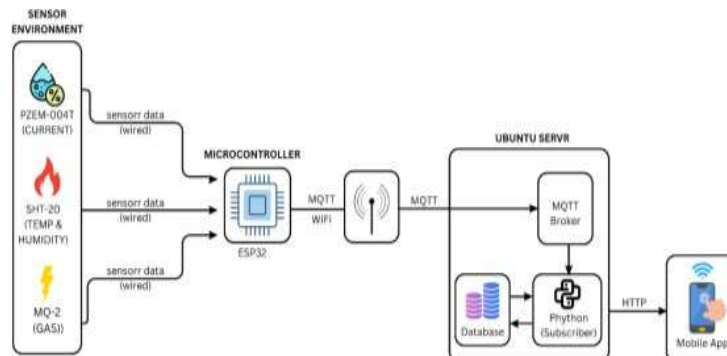
MIT App Inventor

MIT App Inventor adalah platform berbasis visual block programming yang digunakan untuk merancang aplikasi mobile Android [23]. Aplikasi ini digunakan oleh petugas untuk memantau data suhu, kelembapan, arus listrik, dan gas dari ruang server secara real-time. Selain menampilkan grafik dan nilai pengukuran sensor, aplikasi ini juga dilengkapi dengan notifikasi otomatis apabila terdeteksi kondisi abnormal.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Rancang Bangun (Research and Development). Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pemantauan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) di ruang server CCTV Bandara Aek Godang. Tahapan penelitian dilakukan melalui lima proses utama sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

2.1. Perancangan Diagram Blok Sistem



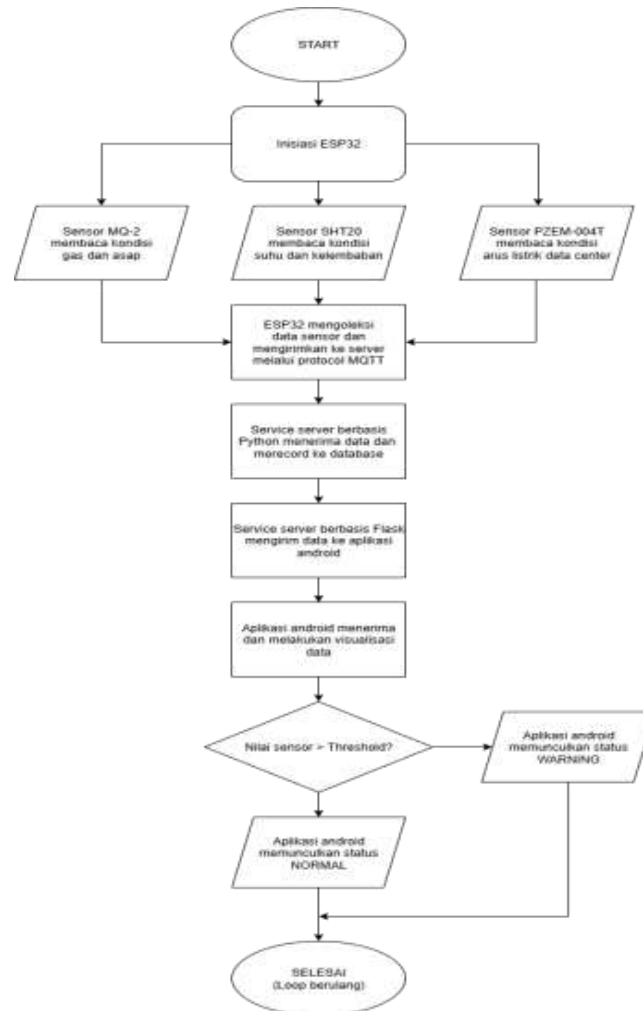
Gambar 2 Diagram Blok Sistem Monitoring Lingkungan

Tahap awal dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem yang menggambarkan hubungan antarperangkat IoT. Sistem terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor SHT20 (suhu dan kelembapan), MQ-2 (gas dan asap), serta PZEM-004T (arus dan tegangan). Data dari tiap sensor dikirim

melalui jaringan Wi-Fi ke Cloud VPS menggunakan protokol MQTT untuk kemudian ditampilkan pada aplikasi mobile. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 3.

2.2. Flowchart Sistem Monitoring Lingkungan

Tahap berikutnya menjelaskan alur kerja sistem mulai dari inialisasi sensor, pembacaan data suhu, kelembapan, gas, dan arus, pengiriman data melalui MQTT Broker, hingga proses penampilan data dan notifikasi real-time pada aplikasi Android seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Flowchart Sistem Monitoring Lingkungan

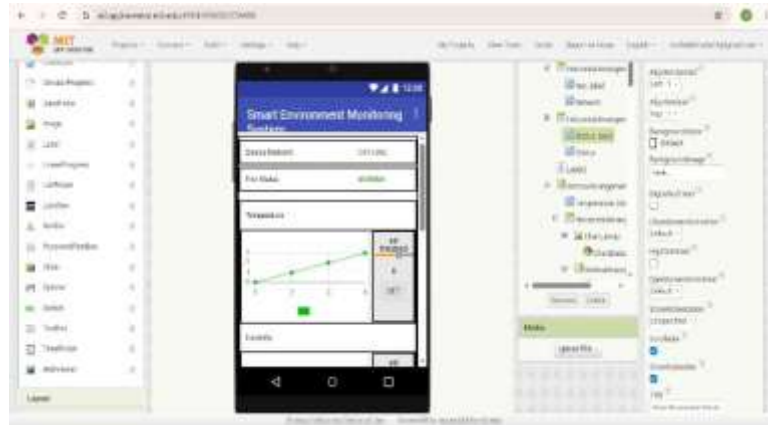
2.3. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 4 Perangkat Keras Smart Environemen Monitoring System

Perancangan perangkat keras dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem terhubung dan berfungsi optimal. Rangkaian utama terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali yang menghubungkan sensor SHT20, MQ-2, dan PZEM-004T untuk mendeteksi suhu, kelembapan, gas, serta arus dan tegangan. Perakitan dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan tegangan tiap komponen agar tidak terjadi overload. Sensor dihubungkan ke pin GPIO ESP32 menggunakan kabel jumper yang ditata untuk meminimalkan interferensi, sementara breadboard digunakan sebagai media uji awal sebelum perakitan permanen. Untuk memastikan akurasi, setiap sensor diuji secara individual dengan stimulus lingkungan berbeda dan dibandingkan dengan alat ukur standar. Seluruh komponen kemudian ditempatkan dalam wadah pelindung agar aman dari debu dan panas ruangan server.

2.4. Perancangan Perangkat Lunak



Perangkat lunak sistem dirancang untuk menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi pengguna sehingga pemantauan lingkungan dapat berlangsung otomatis dan real-time. Mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE berbasis C++ untuk membaca data dari sensor SHT20, MQ-2, dan PZEM-004T, kemudian mengirimkannya melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT yang dipilih karena ringan, cepat, dan stabil pada koneksi terbatas. Server berbasis Flask Framework pada Cloud VPS menerima, mengolah, dan menyimpan data ke MySQL Database, serta menyediakan Application Programming Interface (API) untuk integrasi dengan aplikasi Android. Aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan MIT App Inventor menampilkan data suhu, kelembapan, arus, dan gas secara real-time serta memberikan notifikasi otomatis ketika parameter melewati ambang batas. Melalui integrasi mikrokontroler, server, dan aplikasi mobile, sistem mampu memantau kondisi ruang server secara cepat, akurat, dan efisien tanpa memerlukan pengawasan manual berkelanjutan.

2.5. Implementasi Sistem

Setelah perancangan perangkat keras dan lunak selesai, dilakukan implementasi sistem secara menyeluruh dengan mengintegrasikan perangkat keras, server, dan aplikasi mobile. Mikrokontroler ESP32 dihubungkan ke jaringan Wi-Fi internal bandara untuk mengirim data sensor ke Flask Server melalui protokol MQTT. Server menyediakan Application Programming Interface (API) yang menyalurkan data ke antarmuka web dan aplikasi Android. Pengujian menunjukkan konektivitas, kecepatan transfer, dan kestabilan komunikasi yang baik, dengan data dari ESP32 tampil secara real-time pada aplikasi. Sistem juga dilengkapi mekanisme auto reconnect agar tetap berfungsi ketika terjadi gangguan jaringan.

2.6. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan di ruang server CCTV Bandara Aek Godang untuk mengetahui kinerja sistem di lingkungan sebenarnya. Pengujian mencakup empat parameter utama, yaitu suhu, kelembapan, arus, dan gas. Setiap parameter diuji dengan memberikan variasi kondisi lingkungan: normal, suhu tinggi dengan hairdryer, dan kelembapan tinggi dengan semprotan air. Data dari sensor dibandingkan dengan alat ukur manual untuk memastikan keakuratan. Hasil menunjukkan bahwa selisih rata-rata pembacaan masih dalam batas toleransi standar, dengan akurasi pengiriman data mencapai 95% dan waktu respon 5 detik.

Selain pengujian sensor, dilakukan pula uji sistem notifikasi. Aplikasi Android berhasil mengirim peringatan otomatis (alert message) ketika salah satu parameter melebihi ambang batas, misalnya suhu di atas 30°C atau arus di atas nilai normal perangkat server. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik untuk memberikan peringatan dini terhadap potensi gangguan lingkungan di ruang server.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil implementasi sistem Smart Environment Monitoring System berbasis Internet of Things (IoT) pada ruang server CCTV Bandara Aek Godang menunjukkan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan lunak berfungsi dengan baik. Sistem mampu melakukan pembacaan, pengiriman, serta penampilan data sensor secara real-time melalui jaringan Wi-Fi yang terhubung ke Cloud VPS.

Seluruh data lingkungan meliputi suhu, kelembapan, arus, dan gas dapat dipantau melalui aplikasi Android yang dibangun menggunakan MIT App Inventor.

3.1. Hasil Implementasi Sistem

Implementasi sistem Smart Environment Monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dilakukan di ruang server CCTV Bandara Aek Godang dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor lingkungan, Flask Server, dan aplikasi Android. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca, mengirim, dan menampilkan data suhu, kelembapan, arus, dan gas secara real-time melalui jaringan Wi-Fi yang terhubung ke Cloud VPS. Aplikasi Smart Monitoring pada perangkat Android menampilkan seluruh parameter tersebut dalam antarmuka yang ringkas dan informatif seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5 Tampilan Aplikasi Android Sistem Monitoring Lingkungan

Antarmuka aplikasi terdiri dari empat elemen utama, yaitu tampilan nilai sensor, indikator status, grafik perubahan data, dan tombol kontrol koneksi. Seluruh komponen sistem bekerja sinkron, dengan jeda pembaruan data rata-rata lima detik. Integrasi antara ESP32, Flask Framework, dan MQTT Broker terbukti berjalan stabil serta responsif terhadap perubahan nilai sensor di lapangan.

3.2. Hasil Pengujian Sensor

3.2.1. Sensor SHT20 (Suhu dan Kelembapan)

Pengujian sensor SHT20 dilakukan pada tiga kondisi, yaitu suhu normal, suhu tinggi menggunakan hairdryer, dan kelembapan tinggi menggunakan setting spray, untuk menilai akurasi serta kestabilannya terhadap perubahan suhu dan kelembapan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengujian Suhu dan Kelembapan pada Berbagai Kondisi Lingkungan

Kondisi	Suhu Alat Ukur (°C)	Suhu SHT20 (°C)	Kelembapan Alat Ukur (%)	Kelembapan SHT20 (%)	Status
Normal	26.10	26.90	48.00	47.20	Aman
Hairdryer	41.10	41.20	25.00	25.30	Warning
Setting Spray	25.30	25.00	71.00	70.90	Warning

Hasil menunjukkan bahwa rata-rata selisih suhu antara alat ukur manual dan sensor SHT20 adalah sekitar $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$, sedangkan selisih kelembapan berada pada kisaran $\pm 1,3\%$. Nilai error tersebut masih dalam batas toleransi standar sensor digital. Sensor mampu merespons perubahan suhu dan kelembapan secara cepat tanpa fluktuasi yang berarti, menunjukkan performa

3.2.2. Sensor MQ-2 (Gas / Asap)

Sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas atau asap di ruang server sebagai indikator potensi bahaya kebakaran atau polutan udara. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu udara bersih (normal) dan ruangan yang diberi paparan asap obat nyamuk. Berikut data pengujiannya pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian Konsentrasi Gas Menggunakan Sensor MQ-2

Kondisi	Nilai Alat Ukur (ppm)	Nilai Sensor MQ-2 (ppm)	Rentang Kualitas Udara	Status
Udara bersih (normal)	5.00	5.02	4–9 ppm	Aman
Terpapar asap	15.63	16.00	>9 ppm	Warning

Pada kondisi udara normal, nilai pembacaan sensor MQ-2 menunjukkan 5.02 ppm, yang masih berada dalam rentang kualitas udara baik (4–9 ppm). Ketika ruangan diberi paparan asap, nilai pembacaan meningkat menjadi 16.00 ppm, menandakan adanya kenaikan konsentrasi gas yang dapat mengganggu kualitas udara di dalam ruangan.

Peningkatan nilai sensor dari 5.02 ppm menjadi 16.00 ppm menunjukkan bahwa MQ-2 memiliki sensitivitas yang baik terhadap perubahan kualitas udara dan mampu memberikan respons cepat terhadap keberadaan partikel asap di lingkungan ruang server. Hasil ini membuktikan bahwa sensor MQ-2 efektif digunakan sebagai sistem peringatan dini terhadap potensi bahaya penurunan kualitas udara atau indikasi awal risiko kebakaran di ruang server.

3.2.3. Sensor Arus PZEM-004T

Pengujian dilakukan untuk memantau arus dari UPS ke NVR menggunakan sensor PZEM-004T dan dibandingkan dengan amperemeter clamp meter serta nilai teoritis. Hasil pengujian menunjukkan pembacaan sensor SEMS sebesar 0,67 A, sedangkan amperemeter menunjukkan 0,614–0,616 A, dan nilai teoritis 0,64 A.

Perbedaan nilai antar alat tergolong kecil, dengan selisih rata-rata 0,03 A dan galat relatif sekitar 4,69% terhadap nilai teoritis. Hasil ini menunjukkan sistem bekerja stabil dan akurat, sesuai dengan toleransi pengukuran sensor digital (<5%).

Dengan demikian, sensor PZEM-004T dinilai reliabel untuk monitoring arus secara real-time pada sistem Smart Environment Monitoring System (SEMS), terutama untuk mendeteksi konsumsi daya pada perangkat UPS dan NVR di ruang server. Berikut data pengujiannya pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor Arus (UPS → NVR)

Parameter	Nilai (A)	Keterangan
Arus SEMS (PZEM-004T)	0.67	Pembacaan alat SEMS
Arus Amperemeter	0.614–0.616	Alat pembanding
Arus Teoritis	0.64	Berdasarkan perhitungan daya
Galat Relatif SEMS : Teoritis	4.69%	Masih dalam batas toleransi
Status	Stabil	Pengukuran konstan

3.3. Analisis Kinerja Sistem

Analisis kinerja sistem dilakukan untuk menilai keandalan Smart Environment Monitoring System (SEMS) dalam melakukan proses pembacaan sensor, pengiriman data, dan tampilan hasil secara real-time pada aplikasi Android. Sistem ini terdiri dari tiga sensor utama, yaitu SHT20 untuk suhu dan kelembapan, MQ-2 untuk kadar gas karbon monoksida (CO), dan PZEM-004T untuk pengukuran arus listrik.

Seluruh sensor terhubung dengan mikrokontroler ESP32 yang mengirimkan data menuju Flask Server melalui protokol komunikasi MQTT, kemudian hasilnya divisualisasikan melalui aplikasi Android berbasis MIT App Inventor.

3.3.1. Pengujian Lapangan

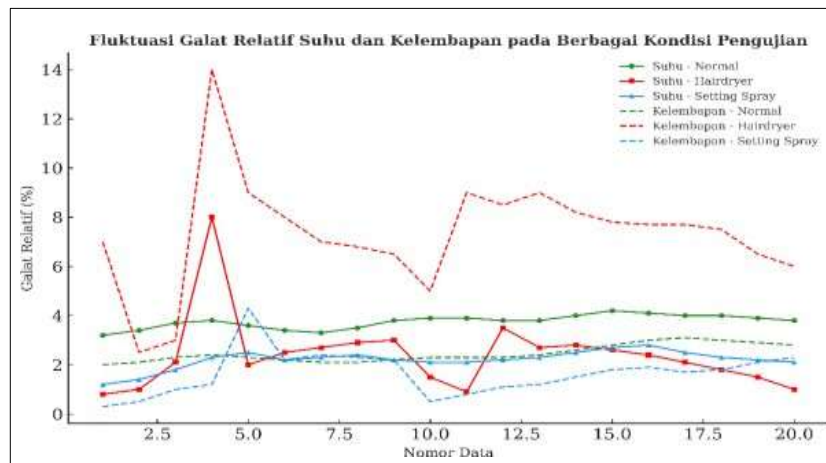
Pengujian dilakukan di Ruang Server CCTV Bandara Aek Godang pada dua sesi lapangan dan mencakup: verifikasi fungsional tiap sensor, uji integrasi sistem (ESP32 → MQTT → Flask → aplikasi Android), serta pengujian respons terhadap kondisi terkontrol (hairdryer, setting-spray, paparan asap obat nyamuk). Tujuan: mengukur akurasi, kestabilan, dan kecepatan pengiriman data sistem dalam kondisi operasional nyata.



Gambar 6 Pengujian Sensor SEMS terhadap Parameter Suhu, Kelembapan, Gas, dan Arus di Ruang Server

Foto pada Gambar 8. menunjukkan unit SEMS terpasang di bawah rak server, unit UPS, kabel pengukuran, dan tampilan aplikasi/mobile yang menampilkan bacaan sensor secara real-time. Dari foto dan observasi lapangan terlihat SEMS terpasang pada posisi operasional yang relevan (dekat UPS dan NVR). Semua modul sensor terhubung dan data tampil di aplikasi; itu menandakan integrasi perangkat keras dan lunak telah berhasil sebelum pengujian kuantitatif dimulai.

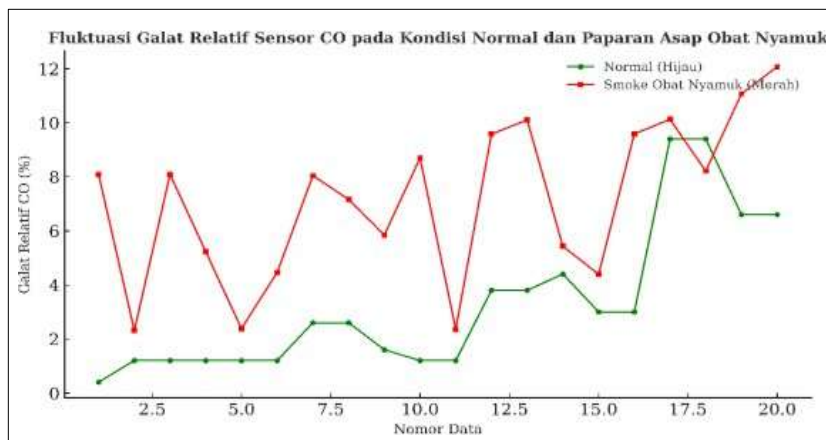
3.3.2. Grafik Fluktuasi Perbandingan Percobaan pada Parameter Suhu dan Kelembapan



Gambar 7 Fluktuasi galat relatif pengukuran suhu & kelembapan pada berbagai kondisi (Normal, Hairdryer & Setting Spray)

Berdasarkan Gambar 9, sensor SHT20 menunjukkan akurasi dan stabilitas tinggi pada kondisi normal dengan galat di bawah 5% dan respons yang linier terhadap alat pembanding. Pada paparan panas ekstrem menggunakan hairdryer, galat relatif—terutama pada kelembapan—meningkat hingga 13–14% akibat keterlambatan respons sensor. Sementara itu, paparan setting spray menghasilkan galat moderat yang masih dapat diterima karena sensor tetap mampu mengikuti perubahan lingkungan. Secara keseluruhan, kinerja sensor pada SEMS cukup stabil dan responsif, meskipun akurasi kelembapan menurun pada kondisi ekstrem sehingga memerlukan kalibrasi lebih sering atau penerapan filter data.

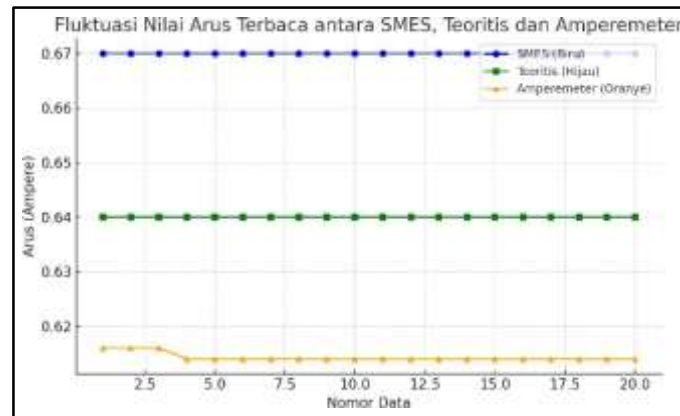
3.3.3. Grafik Fluktuasi Perbandingan Percobaan Pada Parameter Kadar CO



Gambar 8 Fluktuasi galat relatif pengukuran karbon monoksida (CO) pada kondisi normal dan saat paparan asap obat nyamuk

Berdasarkan Gambar 10, sensor karbon monoksida (CO) menunjukkan galat kecil dan stabil di bawah 5% pada kondisi normal, menandakan akurasi dan kestabilan yang baik serta hasil pembacaan yang mendekati nilai referensi Air Quality Detector. Pada kondisi paparan asap obat nyamuk, galat relatif meningkat hingga lebih dari 10% akibat pengaruh partikulat pembakaran, namun sensor tetap menampilkan tren peningkatan CO yang konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa sensor CO pada sistem SEMS memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan konsentrasi gas, meskipun akurasinya menurun pada kondisi polusi ekstrem.

3.3.4. Grafik Fluktuasi Nilai Arus pada Sistem SEMS



Gambar 9 Analisis Fluktuasi Nilai Arus pada Sistem SEMS

Berdasarkan Gambar 11, fluktuasi arus menunjukkan bahwa pembacaan sensor pada sistem SEMS memiliki kesesuaian tinggi dengan nilai teoritis dan hasil amperemeter, dengan selisih hanya 0,02–0,03 A. Meskipun pembacaan sensor sedikit lebih tinggi, perbedaannya masih dalam batas toleransi pengukuran digital (<5%) dan tetap menunjukkan pola linier yang konsisten. Hasil ini mengonfirmasi bahwa sensor arus PZEM-004T bekerja presisi, stabil, dan real-time, sehingga andal untuk pemantauan konsumsi daya listrik secara berkelanjutan pada infrastruktur kritis seperti server CCTV bandara.

3.4. Pembahasan

Secara keseluruhan, sistem Smart Environment Monitoring System (SEMS) berhasil memenuhi tujuan penelitian dengan menyediakan pemantauan kondisi lingkungan ruang server berbasis IoT yang bekerja otomatis dan real-time. Pengujian menunjukkan kinerja sensor yang akurat dan stabil pada berbagai kondisi.

Sensor SHT20 memiliki galat suhu dan kelembapan rendah pada kondisi normal (<5%), sementara pada kondisi ekstrem galat kelembapan meningkat hingga 13–14% akibat keterlambatan respons, namun masih menunjukkan pola linier yang dapat diterima. Sensor MQ-2 mampu mendeteksi perubahan signifikan konsentrasi CO dengan galat <5% pada kondisi normal dan >10% saat terpapar asap, tetap memperlihatkan tren peningkatan yang konsisten. Sensor arus PZEM-004T menunjukkan performa paling stabil dengan selisih pembacaan 0,02–0,03 A dan galat relatif 1,39%, sehingga andal untuk pemantauan arus listrik. Integrasi sensor dengan mikrokontroler ESP32, protokol MQTT, Flask Server, dan aplikasi Android berjalan sinkron dengan pembaruan data rata-rata lima detik serta notifikasi otomatis saat terjadi anomali.

Meskipun demikian, peningkatan keandalan disarankan melalui redundansi jaringan, dukungan UPS tambahan, dan penyimpanan data lokal agar sistem tetap berfungsi saat koneksi terganggu. Dengan pengembangan tersebut, SEMS berpotensi menjadi solusi pemantauan lingkungan yang adaptif dan andal bagi infrastruktur bandara dan fasilitas teknologi lainnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian Smart Environment Monitoring System berbasis Internet of Things (IoT) pada ruang server CCTV Bandara Aek Godang, dapat disimpulkan bahwa Sistem monitoring berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor SHT20, MQ-2, dan PZEM-004T, serta dikomunikasikan melalui protokol MQTT untuk memantau suhu, kelembapan, kadar CO, dan arus listrik secara real-time. Sistem menunjukkan stabilitas operasional yang tinggi, dengan tingkat keberhasilan transmisi data >95% dan waktu respons pengiriman <5 detik, mengindikasikan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang berjalan sinkron. Akurasi sensor terverifikasi baik, ditunjukkan oleh galat suhu SHT20 <5% dan galat kelembapan 13–14% pada kondisi ekstrem; sensor MQ-2 dengan galat <5% pada udara normal dan >10% pada kondisi berasap; serta sensor PZEM-004T dengan galat relatif rata-rata 1,39% dan selisih bacaan 0,02–0,03 A terhadap alat pembanding. Sistem SEMS layak diterapkan sebagai solusi pemantauan lingkungan ruang server karena mampu mendeteksi dinamika parameter secara cepat dan memberikan

peringatan dini terhadap potensi bahaya. Peningkatan keandalan dapat dilakukan melalui penambahan backup daya dan penyimpanan data lokal.

Referensi

1. Asosiasi Bandara Indonesia. (2023). *Laporan statistik bandara regional Indonesia*. Jakarta: Asosiasi Bandara Indonesia.
2. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2022). *Data kebakaran listrik di Indonesia*. Jakarta: BNPB.
3. Badan Standarisasi Nasional. (2023). *Parameter keselamatan ruang server di Indonesia*. Jakarta: BSN.
4. PT Angkasa Pura. (2022). Laporan insiden korsleting ruang server CCTV di bandara Indonesia. Jakarta: PT Angkasa Pura.
5. National Fire Protection Association (NFPA). (2023). Fire prevention and protection statistics. Quincy, MA: NFPA.
6. Kurniawan, A. (2018). *Getting started with ESP32*. Apress.
7. Singh, R., & Kapoor, M. (2021). "Secure Internet of Things (IoT) systems using ESP32 and cloud platforms," *International Journal of Smart Technology & Security*, 9(1), 55–72.
8. Wu, J., Zhao, L., & Ma, Q. (2020). "Energy-efficient temperature and humidity monitoring system using IoT sensors," *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5), 4829–4838.
9. Zhang, X., Li, Y., & Chen, W. (2021).
10. "Evaluation of humidity sensors for industrial IoT applications," *Sensors and Actuators A: Physical*, 315, 112324.
11. Sari, S., Peslinof, M., & Afrianto, M. F. (2021). "Sistem keamanan berbasis IoT dengan sensor suhu dan asap," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 8(2), 123–130.
12. Prabowo, R. (2022). "Sistem deteksi kebakaran berbasis IoT dengan respons otomatis," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 10(1), 45–53.
13. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2021). Annex 14: Aerodromes.
14. Kementerian Perhubungan RI. (2017). Peraturan No. 19/2017 tentang Standar Pelayanan Bandar Udara.
15. ICAO, Annex 14: Aerodromes, 2021.
16. Kemenhub RI, Peraturan No. KP 102 Tahun 2022 tentang Standar Ruang Server Bandara, 2022.
17. Espressif Systems, ESP32 Datasheet Version 4.2, 2023.
18. Kurniawan, A., *Getting Started with ESP32*, Apress, 2018.
19. Sensirion, SHT20 Humidity and Temperature Sensor Datasheet, 2023.
20. Winsen Electronics, MQ-2 Gas Sensor Datasheet, 2023.
21. Peacefair, PZEM-004T Power Measurement Module Manual, 2023.
22. Hunkeler, U., Truong, H. L., & Stanford-Clark, A., "MQTT—A publish/subscribe protocol for the Internet of Things," *IEEE Conf. Commun. Systems*, 2008.
23. Grinberg, M., *Flask Web Development*, 2nd ed., O'Reilly Media, 2018.
24. Wolber, D., Abelson, H., Spertus, E., & Looney, L., *App Inventor 2: Create Your Own Android Apps*, MIT Press, 2014.