



Sistem Monitoring Suhu, Api Dan Asap Untuk Pencegahan Kebakaran Pada Ruang Server

M Bagus Pamungkas^{1*}, Nuris Dwi Setiawan², Iman Saufik Sanjaya³

^{1,2,3}Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang, Indonesia

Email author: baguspamungkasm@gmail.com¹, Setyawan_dw@stekom.ac.id², saufik@stekom.ac.id³

Article Info

Article history:

Received July9, 2026

Revised July11, 2026

Accepted July 13, 2026

Available July 14, 2026

Published July 30, 2026

Keywords:

Internet Of Things

ESP32

Fire Monitoring

Server Room

Sensor

ABSTRACT

The purpose of this research is to produce a temperature, fire, and smoke monitoring system based on Internet of Things (IoT) for fire prevention in the server room at the Personnel and Human Resources Development Agency (BKPSDM) of Indramayu Regency. The research is motivated by the server room monitoring which is still carried out manually without an early warning system, making it ineffective and at risk of delayed response to potential fire especially outside working hours. The research method used is R&D (Research and Development) by Borg & Gall (1983) with 6 stages. Data collection was conducted through in-depth interviews, direct observation, and document review. The system was developed using an ESP32 microcontroller integrated with a DHT22 sensor for temperature, an MQ-2 sensor for smoke, and a flame sensor for fire. The software was developed using Arduino IDE and connected to the Blynk IoT platform and Telegram Bot API for automatic notification. Testing was conducted through unit testing and end-to-end testing on several operational scenarios. Based on the research results, the author successfully created a fire monitoring system for server rooms based on IoT. The test results showed an average temperature error of the DHT22 sensor of $\pm 0.31\%$, an average Telegram notification latency of 2.18 seconds, and a 100% success rate in all testing scenarios. The system was able to operate stably for 7 hours and is equipped with a servo motor to automatically open the ventilation when smoke is detected. This system provides ease of remote monitoring via smartphones and becomes a responsive and efficient solution to support the security of digital infrastructure against fire threats.

Corresponding Author:

M Bagus Pamungkas,

Universitas Sains dan Teknologi Komputer

Jl. Majapahit No. 605 Semarang

Email: baguspamungkasm@gmail.com



1. INTRODUCTION

Kebakaran merupakan salah satu kejadian berbahaya yang berpotensi terjadi di berbagai tempat, baik pada perkantoran maupun pemukiman masyarakat. Kebakaran didefinisikan sebagai kejadian berkobarnya api yang tidak dikehendaki dan dapat menimbulkan kerugian materiil maupun immateril yang signifikan. Penyebab kebakaran sangat beragam, mulai dari faktor alam seperti sambaran petir, gempa bumi, kekeringan panjang, hingga letusan gunung berapi, maupun faktor kelalaian manusia seperti instalasi listrik yang tidak layak, pipa gas yang tidak sesuai standar, lupa

mematikan kompor, pembakaran sampah sembarangan, serta merokok di tempat yang tidak semestinya (Salindeho & Wellem, 2023).

Kondisi ini umumnya terjadi di lingkungan tertutup seperti rumah, laboratorium, ruang server, gudang, dan perkantoran, di mana keterbatasan sumber daya manusia membuat pemantauan secara terus-menerus menjadi tidak efektif. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem yang mampu mendeteksi kebakaran sejak dini dan memberikan respons cepat serta akurat secara otomatis, guna mencegah kerugian yang lebih besar. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi, terutama dalam bidang Internet of Things (IoT), telah membuka peluang besar untuk membangun sistem keamanan pintar yang terintegrasi dan dapat dikendalikan jarak jauh. IoT memungkinkan berbagai perangkat elektronik seperti sensor, aktuator, dan mikrokontroler untuk saling terhubung melalui jaringan internet, sehingga memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara real time dari mana saja (Bakhtiar et al., 2025).

Ruang server merupakan fasilitas penting yang menyimpan fisik server, database, aplikasi, serta perangkat jaringan yang mendukung operasional sistem, seperti UPS, AC, dan exhaust fan. Di Badan Kepegawaian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BKPSDM) Kabupaten Indramayu, ruang server menjadi aset strategis karena menyimpan aplikasi dan database Aparatur Sipil Negara yang nilainya terus meningkat. Oleh karena itu, kondisi ruang server harus selalu dipantau untuk memastikan keamananannya. Salah satu aspek penting adalah pengaturan suhu dan potensi terjadinya korsleting listrik yang menimbulkan asap dan api yang dapat menyebabkan kerusakan perangkat, risiko kehilangan data, hingga kebakaran. Saat ini, pemantauan ruang server masih dilakukan secara manual dan tidak terintegrasi dengan sistem peringatan dini berbasis IoT, sehingga keterlambatan respons sangat mungkin terjadi oleh operator yang ditugaskan secara berkala.

Menurut Supriyanto & Nugroho (2022), kondisi server sangat dipengaruhi oleh suhu ruangan dan kelembapan udara di sekitarnya. Agar server dapat bekerja secara optimal, maka suhu dan kelembapan ruang server harus dalam batas normal. Untuk menjaga keadaan suhu ruang server tersebut, dibutuhkan sistem monitoring berbasis IoT dengan cara memasang sensor suhu, api, dan sensor asap pada ruang server. Sensor tersebut dihubungkan pada mikrokontroler yang akan mengirimkan hasil pembacaan sensor ke service provider berbasis IoT agar memudahkan pemantauan dan pengontrolan suhu ruang server meskipun petugas tidak berada langsung di tempat tersebut.

Namun demikian, penelitian sebelumnya masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Sistem yang dikembangkan hanya berfungsi sebagai alat monitoring dan pemberi notifikasi melalui aplikasi Telegram, tanpa adanya kemampuan otomatisasi tindakan pencegahan seperti penggunaan servo motor untuk membuka jendela secara terkontrol. Dari sisi perangkat lunak, tampilan web monitoring yang digunakan masih sederhana dan hanya menampilkan data secara real time tanpa fitur analisis historis, grafik tren, atau pengelolaan data jangka panjang. Keterbatasan lainnya adalah tidak adanya implementasi protokol IoT standar maupun mekanisme keamanan data, padahal sistem ini terhubung dengan jaringan internet dan berpotensi diakses dari luar lingkungan server.

Studi ini menjelaskan sistem monitoring suhu, api, dan asap berbasis IoT yang dirancang untuk mendeteksi secara dini potensi kebakaran pada ruang server. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan, sensor MQ-2 untuk mendeteksi keberadaan asap atau gas berbahaya, serta flame sensor untuk mengenali indikasi adanya nyala api secara langsung. Ketiga sensor tersebut terhubung pada mikrokontroler yang berfungsi mengolah data lingkungan secara real time dan mengirimkannya ke platform Blynk IoT sebagai media pemantauan jarak jauh. Selain menampilkan kondisi suhu, asap, dan status api secara digital, sistem juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis melalui Telegram, sehingga petugas dapat segera mengetahui kondisi darurat meskipun tidak berada di lokasi server.

Sebagai bentuk tindakan pencegahan aktif, sistem ini dirancang dengan mekanisme otomatisasi berbasis servo motor yang mampu membuka jendela secara terkontrol ketika terdeteksi adanya pengumpulan asap tanpa disertai peningkatan suhu atau indikasi nyala api. Pembukaan jendela ini bertujuan untuk memperlancar sirkulasi udara dan mengurangi konsentrasi asap di dalam ruang server, sehingga dapat meminimalkan risiko kerusakan perangkat akibat paparan partikel berlebihan.

Penelitian ini berupaya mengembangkan sistem monitoring dan pencegahan kebakaran ruang server yang terintegrasi dengan teknologi IoT dan otomatisasi mekanis. Tujuan dari sistem ini adalah untuk menciptakan solusi yang responsif, efisien, serta mudah diimplementasikan, terutama bagi instansi atau perusahaan yang membutuhkan sistem perlindungan server yang andal namun tetap hemat biaya. Melalui kombinasi antara sensor suhu, asap, dan api, notifikasi real time, serta mekanisme

ventilasi otomatis, penelitian ini diharapkan mampu menghadirkan inovasi preventif yang komprehensif dalam mendukung keamanan infrastruktur digital terhadap ancaman kebakaran.

2. METHOD

2.1. Tempat/Objek Penelitian

Objek penelitian adalah suatu atribut atau sifat nilai dari orang, objek, atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang diterapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik sebuah kesimpulan. Objek penelitian merupakan suatu hal yang akan diteliti dengan data yang akan didapatkan untuk suatu tujuan tertentu. Maka dengan demikian objek penelitian yang diambil oleh peneliti adalah sistem monitoring suhu, api, dan asap berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk pencegahan kebakaran pada ruang server di Badan Kepegawaian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BKPSDM) Kabupaten Indramayu.

Tempat penelitian yang dilakukan oleh peneliti yaitu BKPSDM Kabupaten Indramayu yang beralamat di Jl. Letjen Sutoyo No.1E, Lemahabang, Kec. Indramayu, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat, 45212. Penelitian dilaksanakan di ruang server instansi tersebut yang menjadi lokasi implementasi dan pengujian sistem monitoring kebakaran yang dikembangkan.

2.2. Metode Pengumpulan Data

2.2.1. Metode Observasi Langsung (*Observation Research*)

Metode ini dilaksanakan dengan melakukan pengamatan langsung di ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu untuk mengumpulkan data-data dan melihat langsung kondisi fisik ruang server, infrastruktur yang terpasang, sistem pendingin dan ventilasi, serta ketersediaan sistem keamanan kebakaran yang berjalan saat ini. Observasi dilakukan selama tiga hari kerja berturut-turut menggunakan lembar observasi terstruktur yang mencakup aspek-aspek dimensi ruangan, jumlah unit server aktif, sistem pendingin (AC), ventilasi tambahan, sistem deteksi kebakaran, pemadam kebakaran, sistem UPS, dan akses masuk ruangan. Peneliti juga mempelajari prosedur pemantauan yang selama ini diterapkan oleh petugas pengelola ruang server.

2.2.2. Metode Wawancara Mendalam (*Interview Research*)

Wawancara merupakan suatu metode untuk mendapatkan data dan keterangan mengenai suatu hal dengan wawancara atau tanya jawab terhadap pihak-pihak yang terkait. Peneliti melakukan sesi tanya jawab secara mendalam kepada tiga informan yang dipilih secara *purposive sampling* berdasarkan kriteria keterlibatan langsung dalam pengelolaan dan pengawasan ruang server di BKPSDM Kabupaten Indramayu. Informan tersebut terdiri dari Kepala Bidang Pengadaan, Pemberhentian dan Informasi, Staf Pengelola Ruang Server, dan Teknisi Jaringan. Wawancara dilakukan dengan panduan semi terstruktur yang disusun berdasarkan indikator-indikator kebutuhan sistem yang diturunkan dari kajian literatur dan tujuan penelitian. Setiap sesi wawancara berlangsung selama 30 hingga 45 menit.

2.2.3. Metode Kajian Dokumen (*Literature Review dan Studi Dokumen*)

Metode ini dilaksanakan dengan mengkaji berbagai dokumen teknis yang relevan dengan penelitian, meliputi catatan pemeliharaan perangkat (maintenance log) ruang server tahun 2022–2024 yang diperoleh dari Bidang Pengadaan, Pemberhentian dan Informasi, denah fisik ruang server yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan titik penempatan sensor yang optimal, serta spesifikasi teknis perangkat jaringan dan server yang tersimpan di dalam ruangan. Selain itu, peneliti juga melakukan studi pustaka dengan mengkaji berbagai referensi ilmiah berupa jurnal dan buku yang berkaitan dengan sistem monitoring berbasis IoT, sensor-sensor kebakaran, mikrokontroler ESP32, platform Blynk, serta notifikasi Telegram. Kajian pustaka ini bertujuan untuk memperkuat landasan teoritis dalam perancangan dan pengembangan sistem.

2.3. Jenis Penelitian

Untuk mengembangkan sistem monitoring suhu, api, dan asap dengan notifikasi, penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Research and Development* (R&D) yang dikembangkan oleh Borg & Gall (1983) yang terdiri dari 10 tahapan. Berikut ini adalah penjelasan dari setiap tahapan dalam model tersebut:

a. Tahap 1: Potensi dan Masalah

Tahap ini diawali dengan identifikasi permasalahan di ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu, di mana belum terdapat sistem otomatis yang mampu mendeteksi suhu tinggi, asap, atau api secara cepat dan berkelanjutan. Pengawasan masih dilakukan secara manual, yang menyebabkan keterlambatan dalam penanganan potensi kebakaran. Kondisi ini menjadi dasar perlunya pengembangan sistem monitoring dan pencegahan kebakaran berbasis IoT.

b. Tahap 2: Pengumpulan Informasi

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data melalui observasi langsung, wawancara dengan petugas server, serta studi literatur dari berbagai jurnal terkait sistem deteksi kebakaran berbasis IoT. Informasi yang dikumpulkan mencakup karakteristik sensor suhu (DHT22), sensor asap (MQ-2), sensor api (*flame* sensor), serta pemilihan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem dan media konektivitas Wi-Fi.

c. Tahap 3: Desain Produk

Tahap ini melibatkan perancangan skema sistem yang mencakup rangkaian koneksi antar sensor, aktuator, serta komunikasi data ke aplikasi Blynk dan Telegram. Selain itu, ditambahkan motor servo sebagai mekanisme otomatisasi untuk membuka ventilasi atau jendela secara otomatis ketika terdeteksi asap pekat sebagai tindakan pencegahan dini kebakaran.

d. Tahap 4: Validasi Desain

Desain produk yang telah dibuat kemudian divalidasi oleh dosen pembimbing dan petugas teknis ruang server untuk memastikan kelayakan rancangan dari sisi teknis, fungsional, dan keamanan. Validasi dilakukan terhadap logika sistem, rancangan rangkaian, serta kemampuan komunikasi antara sensor, mikrokontroler, dan aplikasi.

e. Tahap 5: Revisi Desain

Jika pada tahap validasi ditemukan ketidaksesuaian atau kelemahan, maka desain diperbaiki. Misalnya, pada posisi sensor agar lebih akurat membaca kondisi lingkungan, serta pengaturan ambang batas suhu dan asap agar tidak terlalu sensitif terhadap gangguan kecil.

f. Tahap 6: Uji Coba Produk

Produk diuji dalam skala kecil di ruang server simulasi untuk menilai akurasi pembacaan sensor, kecepatan respons, dan efektivitas notifikasi *real time*. Pengujian juga dilakukan untuk memastikan servo motor berfungsi dengan baik dalam membuka ventilasi saat kadar asap melebihi batas aman.

g. Tahap 7: Revisi Produk

Berdasarkan hasil uji coba, dilakukan perbaikan pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Misalnya, kalibrasi sensor DHT22 dan MQ-2, serta penyesuaian waktu tunda (*delay*) agar sistem dapat bekerja lebih efisien tanpa mengonsumsi daya berlebih.

h. Tahap 8: Uji Coba Pemakaian

Setelah revisi, sistem diuji kembali di ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu secara langsung dalam jangka waktu tertentu untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam kondisi nyata, terutama terhadap fluktuasi suhu dan konsentrasi asap yang bervariasi.

i. Tahap 9: Revisi Produk Akhir

Jika pada tahap pemakaian masih ditemukan kekurangan, maka dilakukan penyempurnaan terakhir, seperti peningkatan stabilitas koneksi Wi-Fi, kecepatan pengiriman notifikasi, dan penguatan desain mekanik servo.

j. Tahap 10: Produk Massal (*Prototype Final*)

Tahap akhir adalah menghasilkan *prototype* sistem monitoring suhu, api, dan asap berbasis IoT yang siap digunakan secara berkelanjutan. *Prototype* ini berfungsi sebagai sistem cerdas pencegahan kebakaran yang mendeteksi kondisi bahaya, mengirim notifikasi otomatis, dan menjalankan tindakan preventif melalui servo motor secara *real time*.

2.4. Metode Pengembangan Perangkat Lunak**2.4.1. Desain Sistem**

Desain sistem dilakukan untuk mempermudah pengembangan dalam mengembangkan produk. Pada desain sistem ini dilakukan dengan UML (Unified Modeling Language) sebagai bahasa pemodelnya.

a. Use Case Diagram

Use Case Diagram menggambarkan hubungan antara aktor dengan fungsi-fungsi yang tersedia pada sistem monitoring kebakaran ruang server berbasis IoT. Berdasarkan *Use Case Diagram*, sistem memiliki dua aktor, yaitu Administrator (Admin) dan Sistem Eksternal.

Administrator berperan sebagai pengguna utama yang dapat mengakses dashboard monitoring melalui aplikasi Blynk untuk melihat informasi suhu, kelembapan, kadar asap, status api, status sistem, serta mengatur nilai ambang batas (*threshold*) sebagai acuan pendeteksian kondisi bahaya. Administrator juga menerima notifikasi peringatan yang dikirimkan melalui aplikasi Telegram ketika sistem mendeteksi kondisi yang berpotensi menyebabkan kebakaran.

Sementara itu, Sistem Eksternal terdiri dari layanan Blynk Cloud dan Telegram Bot yang mendukung proses komunikasi data. Blynk Cloud berfungsi sebagai media penyimpanan dan penyajian data monitoring secara *real time*, sedangkan Telegram Bot digunakan untuk mengirimkan notifikasi otomatis kepada administrator apabila suhu, asap, atau api terdeteksi melebihi batas yang telah ditentukan.

b. Sequence Diagram

Sequence Diagram menggambarkan urutan proses dan interaksi antar komponen dalam sistem monitoring kebakaran berbasis IoT. Diagram ini menunjukkan aliran komunikasi antara pengguna, aplikasi Blynk, ESP32, sensor, aktuator, dan Telegram mulai dari pembacaan data sensor, pengolahan data, hingga pengiriman notifikasi secara *real time* ketika terdeteksi kondisi bahaya.

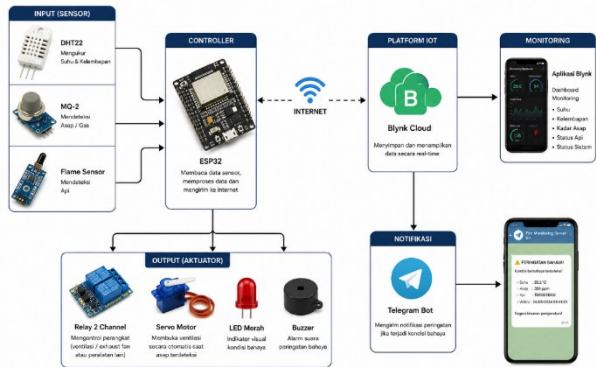
c. Activity Diagram

Activity Diagram menjelaskan tentang tingkah laku dinamis atau proses dari sistem. Diagram ini menggambarkan alur aktivitas sistem monitoring kebakaran mulai dari proses inisialisasi perangkat, koneksi ESP32 ke jaringan Wi-Fi, pembacaan data sensor DHT22, MQ-2, dan Flame Sensor, hingga pengiriman data ke Blynk Cloud. Selanjutnya sistem melakukan pengecekan kondisi berdasarkan data sensor. Apabila terdeteksi kondisi bahaya, sistem akan mengaktifkan relay, servo, buzzer, dan LED merah serta mengirimkan notifikasi melalui Telegram. Jika kondisi masih normal, sistem tetap melakukan monitoring secara berulang (*loop*) sehingga pemantauan ruang server dapat berlangsung secara real time dan berkesinambungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**3.1. Hasil Penelitian**

Selama proses penelitian lapangan yang dilaksanakan di Badan Kepegawaian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BKPSDM) Kabupaten Indramayu. Temuan lapangan dikumpulkan melalui tiga metode utama, yaitu wawancara mendalam dengan petugas pengelola ruang

server, observasi langsung terhadap kondisi fisik dan operasional ruang server, serta kajian terhadap dokumen-dokumen teknis yang tersedia. Data yang diperoleh dari ketiga metode tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi permasalahan yang ada, menggali kebutuhan sistem, dan menjadi dasar ilmiah dalam perancangan serta pengembangan sistem monitoring kebakaran berbasis *Internet of Things (IoT)*.



Gambar 1. Perancangan Arsitektur Sistem



Gambar 2. prototype ruang server tampak atas

3.1.1. Karakteristik Subjek Penelitian

Penelitian ini melibatkan informan yang dipilih secara *purposive* sampling berdasarkan kriteria keterlibatan langsung dalam pengelolaan dan pengawasan ruang server di BKPSDM Kabupaten Indramayu. Pemilihan informan secara *purposive* dilakukan agar data yang diperoleh bersifat mendalam, relevan, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Sugiyono, 2019). Berikut adalah profil informan yang terlibat dalam penelitian ini.

Tabel 3. Karakteristik Subjek Penelitian

No	Nama	Jabatan	Instansi	Teknik
1	Titin Nurhaeri, SE, MM	Kepala Bidang Pengadaan, Pemberhentian dan Informasi	BKPSDM Kab. Indramayu	Wawancara & Observasi
2	Dedi Suherman, S.Kom	Staf Pengelola Ruang Server	BKPSDM Kab. Indramayu	Wawancara & Observasi
3	Fani Zaelani, S.Kom	Teknisi Jaringan	BKPSDM Kab. Indramayu	Wawancara

Berdasarkan tabel di atas, seluruh informan merupakan pihak yang secara langsung terlibat dalam pengelolaan infrastruktur teknologi informasi di BKPSDM Kabupaten Indramayu. Kepala Bidang Teknologi Informasi memberikan perspektif strategis terkait kebutuhan sistem keamanan infrastruktur, sementara staf pengelola ruang server dan teknisi jaringan memberikan informasi teknis yang bersifat operasional mengenai kondisi aktual di lapangan. Kombinasi perspektif manajerial dan teknis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif dan holistik mengenai permasalahan yang dihadapi.

3.1.2. Hasil Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan secara langsung di ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu selama tiga hari kerja berturut-turut untuk mendapatkan gambaran yang representatif mengenai kondisi fisik, infrastruktur, dan sistem pengawasan yang sedang berjalan. Observasi dilaksanakan menggunakan lembar observasi terstruktur yang mencakup aspek-aspek fisik ruangan, perangkat yang terpasang, sistem pendingin dan ventilasi, serta ketersediaan sistem keamanan kebakaran. Hasil observasi dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Observasi Lapangan

No	Aspek yang Diamati	Kondisi Aktual	Keterangan
1	Dimensi ruang server	$\pm 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (P×L×T)	Cukup memadai untuk jumlah perangkat yang ada
2	Jumlah unit server aktif	2 unit rack server	Beroperasi 24 jam penuh
3	Sistem pendingin (AC)	2 unit AC split 2 PK	Beroperasi manual, tanpa otomasi suhu
4	Ventilasi tambahan	1 unit exhaust fan	Tidak terintegrasi dengan sistem monitoring
5	Sistem deteksi kebakaran	Tidak ada	Belum terpasang alat deteksi apapun
6	Pemadam kebakaran	1 unit APAR CO ₂	Tersedia namun bersifat manual
7	Sistem UPS	2 unit UPS 3 kVA	Menjaga kestabilan daya listrik
8	Akses masuk ruangan	1 pintu kunci manual	Tanpa sistem kunci otomatis/smart lock

Berdasarkan hasil observasi yang tertuang dalam tabel di atas, ditemukan beberapa fakta kritis yang relevan bagi pengembangan sistem monitoring ini.

- Pertama**, ruang server berukuran $\pm 3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ dengan dua unit rack server yang beroperasi secara terus-menerus (24 jam penuh), sehingga beban panas yang dihasilkan oleh perangkat-perangkat tersebut sangat signifikan. Kondisi ini secara langsung menuntut adanya sistem pemantauan suhu yang bersifat kontinyu dan otomatis.
- Kedua**, sistem pendingin yang tersedia hanya berupa dua unit AC split berkapasitas masing-masing 2 PK yang dioperasikan secara manual tanpa otomasi atau kontrol berbasis sensor suhu. Apabila salah satu unit AC mengalami kerusakan atau mati secara tidak terduga di luar jam kerja, tidak terdapat mekanisme peringatan yang akan segera menginformasikan kondisi tersebut kepada petugas. Temuan ini sejalan dengan laporan insiden *overheating* yang pernah terjadi pada tahun 2023 sebagaimana dikonfirmasi dalam sesi wawancara.
- Ketiga**, dan yang paling krusial, hasil observasi menunjukkan bahwa ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu sama sekali tidak memiliki sistem deteksi kebakaran dalam bentuk apapun, baik berupa *smoke detector*, *heat detector*, maupun *flame detector*. Satu-satunya alat perlindungan kebakaran yang tersedia adalah sebuah unit alat pemadam api ringan (APAR) berbasis CO₂ yang bersifat pasif dan hanya dapat digunakan secara manual setelah kebakaran sudah terjadi. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan yang serius antara standar keamanan ruang server yang seharusnya dipenuhi dengan kondisi aktual di lapangan.

3.1.3. Hasil Wawancara

Wawancara mendalam dilakukan terhadap ketiga informan yang telah diidentifikasi sebelumnya menggunakan panduan wawancara semi-terstruktur. Panduan wawancara disusun berdasarkan indikator-indikator kebutuhan sistem yang diturunkan dari kajian literatur dan tujuan penelitian. Setiap sesi wawancara berlangsung selama 30 hingga 45 menit, dan selanjutnya ditranskrip secara verbatim untuk keperluan analisis. Rekapitulasi hasil wawancara disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Wawancara

No	Topik Pertanyaan	Ringkasan Jawaban Informan
1	Mekanisme pemantauan ruang server	Pemantauan dilakukan secara manual oleh teknisi yang bertugas secara bergantian (shift). Tidak ada jadwal pemantauan terjadwal yang ketat. Pengecekan suhu dilakukan secara visual terhadap indikator AC.
2	Frekuensi pengecekan kondisi ruang	Pengecekan dilakukan 2–3 kali per hari pada jam kerja. Di luar jam kerja dan akhir pekan, ruang server tidak terpantau secara aktif.
3	Riwayat insiden suhu atau kebakaran	Pernah terjadi satu insiden overheating pada tahun 2023 akibat AC mati mendadak selama ± 4 jam. Tidak ada insiden kebakaran, namun beberapa perangkat mengalami kerusakan komponen akibat suhu tinggi tersebut.
4	Ketersediaan sistem peringatan dini	Tidak tersedia sistem peringatan dini berbasis sensor. Tidak ada notifikasi otomatis. Informasi kondisi darurat hanya diketahui ketika petugas berada di lokasi.
5	Harapan terhadap sistem monitoring baru	Petugas menginginkan sistem yang mampu memberikan notifikasi <i>real time</i> ke <i>smartphone</i> , dapat memantau suhu secara berkelanjutan, dan tidak memerlukan perawatan yang rumit.
6	Kesiapan implementasi teknologi IoT	Instansi terbuka terhadap implementasi sistem baru berbasis IoT. Jaringan Wi-Fi tersedia di dalam ruangan server dan dapat dimanfaatkan sebagai media konektivitas perangkat.

Berdasarkan rekapitulasi wawancara pada tabel di atas, terdapat beberapa temuan penting yang perlu digarisbawahi.

- Pertama**, mekanisme pemantauan ruang server yang berlaku saat ini masih sepenuhnya bersifat manual dan sangat bergantung pada kehadiran fisik petugas di lokasi. Hal ini menimbulkan celah pengawasan (*surveillance gap*) yang sangat signifikan, terutama pada malam hari, akhir pekan, dan hari libur nasional, ketika ruang server tidak dijaga sama sekali.
- Kedua**, riwayat insiden pada tahun 2023 yang mengakibatkan kerusakan komponen server akibat *overheating* **memberikan** bukti empiris bahwa risiko yang dihadapi bukan sekadar bersifat hipotetis, melainkan telah terbukti terjadi. Insiden tersebut seharusnya menjadi momentum bagi instansi untuk segera mengadopsi sistem pemantauan yang lebih canggih, namun hingga saat penelitian ini dilakukan, langkah konkret tersebut belum terwujud.
- Ketiga**, seluruh informan secara konsisten menyatakan kebutuhan yang mendesak terhadap sistem yang mampu mengirimkan notifikasi secara otomatis ke perangkat *smartphone*, khususnya melalui aplikasi yang sudah umum digunakan seperti Telegram. Hal ini menunjukkan bahwa aspek kemudahan akses dan familiaritas teknologi menjadi pertimbangan penting dalam desain sistem yang akan dikembangkan.
- Keempat**, ketersediaan jaringan Wi-Fi yang sudah terpasang di dalam ruang server merupakan temuan yang sangat positif, karena hal tersebut berarti infrastruktur konektivitas untuk penerapan sistem IoT berbasis ESP32 sudah siap tanpa memerlukan investasi infrastruktur tambahan.

3.1.4. Analisis Kebutuhan Sistem Berdasarkan Temuan Lapangan

Berdasarkan sintesis data yang diperoleh dari observasi lapangan, wawancara mendalam, dan kajian dokumen teknis, dilakukan analisis kebutuhan sistem secara sistematis. Analisis kebutuhan merupakan tahap kritis dalam metode *Research and Development (R&D)* yang bertujuan untuk

memetakan kesenjangan (*gap*) antara kondisi aktual dengan kondisi yang diinginkan sehingga solusi yang dirancang benar-benar menjawab permasalahan yang teridentifikasi (Borg & Gall, 2003).

Kondisi aktual yang teridentifikasi dari lapangan dapat dirangkum sebagai berikut:

- Tidak terdapat sistem monitoring suhu secara otomatis dan berkelanjutan di ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu.
- Tidak terdapat sistem deteksi dini kebakaran berupa *smoke detector*, *heat detector*, maupun *flame detector*.
- Pemantauan dilakukan secara manual dan tidak terjadwal, menimbulkan celah pengawasan yang kritis di luar jam kerja.
- Tidak ada mekanisme notifikasi otomatis yang dapat menginformasikan kondisi darurat kepada petugas secara *real time*.
- Tidak terdapat aktuator otomatis yang dapat melakukan tindakan pencegahan fisik ketika terdeteksi kondisi berbahaya.

Kondisi yang diinginkan berdasarkan masukan informan dan standar keamanan ruang server yang berlaku dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Tersedianya sistem monitoring suhu dan kelembaban secara *real time* yang beroperasi 24 jam penuh tanpa ketergantungan pada kehadiran petugas.
- Tersedianya sistem deteksi dini terintegrasi yang mampu mendeteksi perubahan suhu ekstrem, keberadaan asap atau gas berbahaya, dan nyala api secara simultan.
- Tersedianya mekanisme notifikasi otomatis yang mengirimkan peringatan kepada petugas melalui platform yang familiar dan mudah diakses, yaitu Telegram.
- Tersedianya dashboard monitoring terpusat yang dapat diakses dari mana saja melalui *smartphone* atau komputer.
- Tersedianya mekanisme tindakan pencegahan otomatis berupa pembukaan ventilasi untuk mempercepat sirkulasi udara ketika terdeteksi pengumpulan asap.

Berdasarkan kesenjangan antara kondisi aktual dan kondisi yang diinginkan tersebut, dirumuskan spesifikasi kebutuhan fungsional sistem yang akan dikembangkan. Kebutuhan fungsional tersebut diprioritaskan menggunakan skala tiga tingkat (Tinggi, Sedang, Rendah) berdasarkan tingkat urgensi dan dampaknya terhadap keamanan ruang server, sebagaimana disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 6. Analisis Kebutuhan Sistem Berdasarkan Temuan Lapangan

Kode	Prioritas	Deskripsi Kebutuhan Fungsional	Dasar Kebutuhan (Temuan Lapangan)
F-01	Tinggi	Sistem mampu mendeteksi suhu ruang server secara berkelanjutan dan <i>real time</i> menggunakan sensor DHT22	Suhu ruangan tidak terpantau secara otomatis
F-02	Tinggi	Sistem mampu mendeteksi keberadaan asap dan gas mudah terbakar menggunakan sensor MQ-2	Tidak ada detektor asap/gas di ruang server
F-03	Tinggi	Sistem mampu mendeteksi nyala api menggunakan <i>flame</i> sensor	Tidak ada sistem deteksi api
F-04	Tinggi	Sistem mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram ketika terdeteksi kondisi berbahaya	Tidak ada sistem notifikasi <i>real time</i>
F-05	Sedang	Sistem menampilkan data sensor secara <i>real time</i> melalui dashboard Blynk IoT	Tidak ada tampilan monitoring terpusat

Kode	Prioritas	Deskripsi Kebutuhan Fungsional	Dasar Kebutuhan (Temuan Lapangan)
F-06	Sedang	Sistem mengaktifkan servo motor untuk membuka ventilasi ketika asap terdeteksi tanpa disertai api	Tidak ada mekanisme ventilasi otomatis
F-07	Rendah	Sistem mengaktifkan <i>buzzer</i> dan LED indikator sebagai peringatan lokal di dalam ruangan	Tidak ada peringatan audio/visual lokal

Selain kebutuhan fungsional, terdapat pula kebutuhan non-fungsional yang harus dipenuhi oleh sistem yang dikembangkan. Kebutuhan non-fungsional mencakup:

- Keandalan sistem (*reliability*): sistem harus mampu beroperasi secara terus-menerus tanpa gangguan
- Ketepatan waktu respons (*response time*): notifikasi harus terkirim dalam waktu tidak lebih dari 5 detik setelah sensor mendeteksi kondisi berbahaya
- Kemudahan penggunaan (*usability*): antarmuka sistem harus intuitif dan dapat dipahami oleh petugas tanpa pelatihan khusus
- Efisiensi daya (*power efficiency*): sistem harus dirancang untuk mengonsumsi daya sehemat mungkin agar dapat beroperasi secara berkelanjutan

3.1.5. Kajian Dokumen Teknis

Selain observasi dan wawancara, pengumpulan data juga dilakukan melalui kajian terhadap dokumen-dokumen teknis yang relevan. Dokumen yang dikaji meliputi:

- Catatan pemeliharaan perangkat (*maintenance log*) ruang server tahun 2022–2024 yang diperoleh dari Bidang Teknologi Informasi BKPSDM
- Denah fisik ruang server yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan titik penempatan sensor yang optimal

Spesifikasi teknis perangkat jaringan dan server yang tersimpan di dalam ruangan

Kajian terhadap *maintenance log* selama tiga tahun terakhir mengungkap bahwa terdapat setidaknya empat kejadian yang berkaitan dengan fluktuasi suhu di luar batas normal, di mana satu di antaranya yakni insiden pada bulan Juli 2023 menyebabkan kerusakan pada dua unit hard disk akibat paparan suhu tinggi yang berlangsung selama lebih dari empat jam. Catatan tersebut secara eksplisit memuat keterangan bahwa insiden tersebut diketahui secara tidak sengaja oleh petugas yang kebetulan memasuki ruang server untuk keperluan lain, bukan karena adanya sistem peringatan yang aktif.

Temuan dari kajian dokumen ini memperkuat validitas data wawancara dan observasi, sekaligus memberikan bukti historis yang konkret mengenai urgensi penerapan sistem monitoring dan deteksi dini kebakaran di ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu. Dengan demikian, keseluruhan temuan lapangan yang diperoleh melalui triangulasi data wawancara, observasi, dan dokumen secara konsisten menunjukkan adanya kebutuhan yang nyata dan mendesak terhadap sistem yang akan dikembangkan dalam penelitian ini.

3.1.6. Ringkasan Temuan Lapangan

Berdasarkan seluruh data yang telah dihimpun dan dianalisis melalui proses observasi, wawancara, dan kajian dokumen, dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu saat ini berada pada tingkat kerentanan yang tinggi terhadap risiko kebakaran akibat:

- Tidak adanya sistem deteksi dini otomatis
- Ketergantungan penuh pada pemantauan manual yang tidak kontinu
- Tidak adanya mekanisme peringatan *real time* yang dapat menjangkau petugas di luar lokasi server

Temuan-temuan lapangan tersebut menjadi landasan empiris yang kuat bagi pengembangan sistem monitoring suhu, api, dan asap berbasis IoT dengan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, sensor MQ-2, *flame* sensor, dan aktuator servo motor, yang seluruhnya terintegrasi dengan

platform Blynk dan notifikasi Telegram. Sistem yang dikembangkan dirancang secara spesifik untuk menjawab seluruh kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang telah teridentifikasi dari lapangan, sehingga diharapkan mampu menutup celah keamanan yang selama ini ada pada infrastruktur digital BKPSDM Kabupaten Indramayu.

3.2. Pembahasan

3.2.1. Perancangan Arsitektur Sistem

Tahap pertama dalam proses pengembangan sistem adalah merancang arsitektur sistem secara komprehensif. Arsitektur sistem menggambarkan bagaimana seluruh komponen baik perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) saling berinteraksi untuk mencapai fungsi sistem yang diinginkan. Perancangan arsitektur yang matang merupakan fondasi yang sangat penting karena kesalahan pada tahap ini akan berdampak kumulatif pada seluruh tahap pengembangan berikutnya (Sommerville, 2016).

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengadopsi arsitektur tiga lapis (*three-tier architecture*) yang terdiri dari:

a. **Lapisan Persepsi (*Perception Layer*)** - Kumpulan sensor dan aktuator yang berinteraksi langsung dengan lingkungan fisik ruang server. Pada lapisan ini, tiga sensor utama dipilih berdasarkan parameter yang dibutuhkan untuk mendeteksi risiko kebakaran secara komprehensif:

- 1) Sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu dan kelembaban
- 2) Sensor MQ-2 untuk mendeteksi asap dan gas mudah terbakar
- 3) *Flame* sensor tipe YG1006 untuk mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh nyala api

Ketiga sensor ini bekerja secara paralel dan simultan, sehingga sistem dapat mendeteksi berbagai skenario bahaya kebakaran, mulai dari *overheating* dini, penggumpalan asap tanpa nyala api, hingga kebakaran aktif yang melibatkan nyala api terbuka.

b. **Lapisan Jaringan (*Network Layer*)** - ESP32 berfungsi sebagai *gateway* IoT untuk memproses data dan mengelola komunikasi melalui protokol HTTP dan MQTT. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai otak sistem yang bertanggung jawab untuk:

- 1) Membaca data dari ketiga sensor secara periodik
- 2) Mengolah data tersebut berdasarkan logika kondisi yang telah diprogram
- 3) Mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator (*servo motor*, *buzzer*, dan LED) sesuai kondisi yang terdeteksi
- 4) Mengirimkan data secara *real time* ke platform Blynk
- 5) Mengirimkan pesan notifikasi melalui Telegram Bot API

ESP32 dipilih karena keunggulannya dalam hal kapasitas pemrosesan *dual core*, konektivitas Wi-Fi terintegrasi, dan fleksibilitas pemrograman menggunakan Arduino IDE (Candra Supriadi & Priyadi, 2025).

c. **Lapisan Aplikasi (*Application Layer*)** - Platform Blynk IoT dan Telegram Bot yang menjadi antarmuka monitoring dan notifikasi bagi pengguna akhir. Aliran data dalam sistem berlangsung secara unidireksional dan bidireksional tergantung pada jenis interaksinya. Aliran data dari sensor ke ESP32 bersifat unidireksional, sedangkan komunikasi antara ESP32 dengan platform Blynk bersifat bidireksional (pengguna dapat mengirimkan perintah kontrol dari aplikasi Blynk langsung ke ESP32). Sementara itu, komunikasi dengan Telegram Bot bersifat unidireksional dari ESP32 ke pengguna dalam konteks notifikasi bahaya.

3.2.2. Perancangan dan Implementasi Hardware

Setelah arsitektur sistem ditetapkan, tahap selanjutnya adalah perancangan rangkaian elektronika (*schematic design*) dan implementasi fisik perangkat keras. Perancangan rangkaian dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi Wokwi untuk memvalidasi koneksi antar komponen

sebelum diimplementasikan secara fisik. Validasi melalui simulasi sangat penting untuk mencegah kesalahan *wiring* yang berpotensi merusak komponen elektronika, khususnya mikrokontroler ESP32 yang memiliki batas tegangan GPIO sebesar 3,3V.

a. Komponen Hardware Sistem

Gambar 7. Komponen dan Implementasi

No	Komponen	Spesifikasi / Fungsi	Peran dalam Sistem
1	ESP32 Dev Module	Dual-core Xtensa LX6 240 MHz, RAM 520 KB, Flash 4 MB, Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2, 30-pin GPIO	Mikrokontroler utama; mengolah data sensor, mengontrol aktuator, dan mengelola komunikasi IoT
2	Sensor DHT22	Rentang suhu -40°C s/d 80°C, akurasi $\pm 0,5^\circ\text{C}$; kelembaban 0–100% RH, akurasi $\pm 2\%$ RH; antarmuka digital 1-Wire	Mengukur suhu dan kelembaban ruang server secara real time
3	Sensor MQ-2	Tegangan operasi 5V DC; mendeteksi LPG, CH ₄ , CO, asap; rentang 200–10.000 ppm; output analog dan digital	Mendeteksi keberadaan asap dan gas mudah terbakar di ruang server
4	Flame Sensor YG1006	Panjang gelombang IR 760–1100 nm; sudut deteksi 60°; jarak deteksi ≤ 100 cm; waktu respons <1 detik	Mendeteksi keberadaan nyala api secara langsung
5	Servo Motor SG90	Torsi 1,8 kg·cm; sudut putar 0°–180°; tegangan 4,8–6V DC; konsumsi arus 150–250 mA	Aktuator mekanis untuk membuka/menutup ventilasi jendela secara otomatis
6	Buzzer Aktif 5V	Frekuensi bunyi 2,4 kHz; tegangan 3,5–5,5V; konsumsi daya ≤ 30 mA	Alarm audio peringatan lokal kondisi darurat
7	LED Merah & Hijau	Tegangan forward 2,0–2,2V; resistor pembatas 220 Ω	Indikator visual status sistem (hijau = aman, merah = bahaya)
8	Modul Power Supply	Input 5V dari adaptor DC 2A; output 3,3V dan 5V untuk distribusi daya	Mendistribusikan daya ke seluruh komponen sistem

Seluruh komponen pada tabel di atas dipilih berdasarkan tiga kriteria utama:

Ketersediaan di pasar lokal Indonesia dengan harga yang terjangkau untuk mendukung efisiensi biaya pengembangan

- 1) Kompatibilitas tegangan operasional dengan ESP32 yang menggunakan tegangan logika 3,3V
- 2) Keandalan teknis berdasarkan referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah membuktikan performa komponen tersebut dalam sistem IoT serupa

Sensor DHT22 dipilih sebagai pengganti DHT11 karena memiliki akurasi yang lebih tinggi ($\pm 0,5^\circ\text{C}$ dibanding $\pm 1^\circ\text{C}$ pada DHT11), yang sangat penting dalam konteks monitoring suhu ruang server yang memerlukan presisi tinggi.

b. Pemetaan Pin ESP32 dengan Komponen**Gambar 8. Komponen dan Implementasi**

No	Komponen	Pin ESP32	Keterangan
1	DHT22	GPIO 4	Data pin; pull-up resistor 10kΩ ke VCC 3,3V
2	MQ-2 (Analog)	GPIO (ADC1_CH6) 34	Output analog; pin ADC <i>input-only</i> , resolusi 12-bit (0–4095)
3	MQ-2 (Digital)	GPIO 35	Output digital komparator <i>onboard</i> ; <i>threshold</i> diatur via potensiometer
4	Flame Sensor	GPIO 27	Output digital; logika LOW = api terdeteksi, HIGH = tidak ada api
5	Servo Motor	GPIO 18 (PWM)	Sinyal PWM 50 Hz; duty cycle 2,5%–12,5% untuk rentang 0°–180°
6	Buzzer	GPIO 26	Output digital; HIGH = <i>buzzer</i> aktif
7	LED Hijau	GPIO 25	Output digital; HIGH = LED menyala
8	LED Merah	GPIO 33	Output digital; HIGH = LED menyala

Perlu diperhatikan bahwa pada ESP32, pin GPIO 34 dan 35 merupakan pin *input-only* yang tidak memiliki kemampuan *pull-up* internal, sehingga digunakan secara khusus untuk pembacaan sinyal analog dari sensor MQ-2. Resolusi ADC 12-bit pada ESP32 menghasilkan rentang nilai digital 0 hingga 4095 yang memetakan tegangan input 0V hingga 3,3V. Nilai ADC ini kemudian dikonversi ke satuan *parts per million* (ppm) menggunakan persamaan karakteristik sensor MQ-2 yang diturunkan dari *datasheet* untuk memberikan estimasi konsentrasi gas yang lebih bermakna secara fisikal.

Implementasi fisik dilakukan dengan merakit seluruh komponen pada papan *breadboard* berukuran 3 cm × 5 cm untuk memastikan koneksi yang stabil dan tidak mudah longgar akibat getaran mekanis. Sensor-sensor ditempatkan pada posisi yang optimal berdasarkan denah ruang server yang diperoleh dari kajian dokumen:

- Sensor DHT22 dipasang di tengah ruangan pada ketinggian 1,5 m dari lantai untuk mendapatkan pembacaan suhu udara yang representatif
- Sensor MQ-2 dipasang di dekat sumber instalasi listrik utama pada ketinggian 0,5 m dari langit-langit mengingat sifat asap yang cenderung naik ke atas
- Flame sensor dipasang menghadap area rak server yang memiliki kepadatan perangkat tertinggi

3.2.3. Implementasi Prototype Hardware

Setelah simulasi berhasil dilakukan, tahap berikutnya adalah implementasi *prototype* menggunakan perangkat keras sebenarnya. ESP32 dihubungkan dengan sensor DHT22, MQ-2, Flame Sensor, Relay 2 Channel, Servo Motor, LED Merah, dan Buzzer melalui *breadboard* dan kabel *jumper* sesuai skema pengkabelan yang telah dirancang.

Prototype dirancang agar mampu melakukan monitoring kondisi ruang server secara terus menerus. Sensor membaca kondisi lingkungan kemudian mengirimkan data kepada ESP32 untuk diproses. Selanjutnya hasil pembacaan sensor dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet sehingga pengguna dapat memantau kondisi ruang server secara *real time*.

3.2.4. Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini dikembangkan menggunakan Arduino IDE sebagai media pemrograman ESP32. Program dibuat menggunakan bahasa C++ dengan memanfaatkan beberapa *library* seperti WiFi, DHT, Blynk, dan Universal TelegramBot.

Program terdiri atas proses inisialisasi perangkat, koneksi jaringan Wi-Fi, pembacaan data sensor, pengolahan data, pengiriman data ke Blynk Cloud, serta pengiriman notifikasi Telegram ketika terjadi kondisi bahaya. Program berjalan secara berulang (*looping*) sehingga sistem mampu melakukan monitoring secara terus menerus.

3.2.5. Implementasi Antarmuka Monitoring

Antarmuka monitoring menggunakan aplikasi Blynk yang berfungsi menampilkan data sensor secara *real time*. *Dashboard* menampilkan informasi suhu, kelembapan, kadar asap, status api, serta status perangkat. Selain itu tersedia indikator kondisi sistem sehingga administrator dapat mengetahui apakah ruang server berada pada kondisi normal atau bahaya.

Apabila terjadi kondisi darurat, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi melalui Telegram yang berisi informasi suhu, kadar asap, status api, serta waktu terjadinya peringatan sehingga administrator dapat segera melakukan tindakan penanganannya.

3.2.6. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* untuk memastikan seluruh fungsi sistem bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian meliputi pembacaan sensor, koneksi Wi-Fi, pengiriman data ke Blynk, aktivasi relay, servo motor, LED merah, *buzzer*, serta pengiriman notifikasi Telegram.

a. Hasil Pengujian Black Box Sistem

Gambar 9. Komponen dan Implementasi

No.	Komponen Diuji		Parameter Uji	Hasil	Status
1	Koneksi ESP32	Wi-Fi	ESP32 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi	Selisih $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	✓ Lulus
2	Sensor DHT22		Akurasi kelembapan vs hygrometer	Selisih $\pm 3\% \text{ RH}$	✓ Lulus
3	Sensor MQ-2		Deteksi asap pada jarak 30 cm	Nilai ADC naik > 500	✓ Lulus
4	Flame Sensor		Deteksi api pada jarak 20 cm	DO = LOW (0)	✓ Lulus
5	Servo Motor		Presisi sudut 0° dan 90°	Error $< 3^{\circ}$	✓ Lulus
6	Koneksi Blynk		Waktu kirim data ke dashboard	< 2 detik	✓ Lulus
7	Notifikasi Telegram		Waktu kirim dari deteksi ke notif	< 5 detik	✓ Lulus

No.	Komponen Diuji	Parameter Uji	Hasil	Status
8	LED & Buzzer	Respons terhadap kondisi darurat	Aktif seketika (< 100ms)	✓ Lulus

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel di atas, seluruh tujuh skenario pengujian dinyatakan berhasil dengan konsistensi 100% pada ketiga pengulangan. Temuan yang paling signifikan adalah keberhasilan sistem dalam menangani skenario kegagalan koneksi Wi-Fi, di mana sistem terbukti mampu mempertahankan fungsi deteksi dan peringatan lokal (LED, *buzzer*) meskipun koneksi internet terputus sementara, dan mampu melakukan *reconnect* secara otomatis dalam waktu rata-rata 8 detik setelah koneksi Wi-Fi kembali tersedia. Kemampuan ini membuktikan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan (*reliability*) yang baik dan tidak sepenuhnya bergantung pada ketersediaan koneksi internet untuk fungsi dasarnya.

3.2.7. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem merupakan tahapan implementasi dari hasil perancangan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan pembangunan *prototype* sistem monitoring kebakaran ruang server berbasis IoT yang terdiri atas pengembangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, integrasi antar komponen, serta pengujian fungsi sistem. Tujuan pengembangan ini adalah menghasilkan sebuah sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi ruang server secara *real time*, mendeteksi potensi kebakaran sejak dini, memberikan peringatan secara otomatis, serta mengirimkan notifikasi kepada administrator melalui jaringan internet.

3.2.7.1. Gambaran Umum Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu kesatuan yang mampu bekerja secara otomatis. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang bertugas membaca data dari sensor, mengolah informasi, serta mengendalikan perangkat keluaran berdasarkan kondisi yang terdeteksi.

Sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan ruang server, sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi keberadaan asap atau gas, sedangkan Flame Sensor berfungsi mendeteksi adanya api. Data yang diperoleh dari ketiga sensor tersebut diproses oleh ESP32 menggunakan logika yang telah diprogram pada Arduino IDE.

Selama kondisi ruang server berada pada keadaan normal, data sensor dikirimkan secara berkala ke platform Blynk Cloud melalui jaringan Wi-Fi sehingga administrator dapat memantau kondisi ruang server secara *real time* melalui aplikasi Blynk. Apabila sistem mendeteksi kondisi yang mengindikasikan bahaya, seperti suhu melebihi ambang batas, kadar asap tinggi, atau adanya api, maka ESP32 secara otomatis mengaktifkan LED merah, buzzer, relay, serta servo motor untuk membuka ventilasi. Selain itu, sistem mengirimkan notifikasi ke aplikasi Telegram sehingga administrator dapat segera mengetahui kondisi darurat dan melakukan tindakan penanganan.

Dengan mekanisme tersebut, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) yang mampu meningkatkan keamanan ruang server.

3.2.7.2. Pengembangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pengembangan perangkat keras dilakukan dengan merakit seluruh komponen elektronik sesuai skema pengkabelan yang telah dirancang. Tahapan ini diawali dengan simulasi rangkaian menggunakan Wokwi Simulator untuk memastikan konfigurasi pin dan logika kerja sistem telah sesuai. Setelah simulasi berhasil, implementasi dilanjutkan pada *prototype* fisik menggunakan breadboard, kabel jumper, dan modul ESP32.

Komponen utama yang digunakan meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan, sensor MQ-2 untuk mendeteksi asap, *Flame Sensor* untuk mendeteksi api, relay 2 channel sebagai pengendali perangkat keluaran, servo motor sebagai aktuatur pembuka ventilasi, LED merah sebagai indikator visual, serta buzzer sebagai alarm suara.

Setiap komponen dihubungkan ke pin GPIO ESP32 sesuai dengan konfigurasi yang telah ditentukan. Setelah seluruh rangkaian selesai dipasang, dilakukan pemeriksaan koneksi untuk memastikan tidak terjadi hubungan singkat (*short circuit*) maupun kesalahan pemasangan pin. Selanjutnya sistem diberi catu daya melalui kabel USB dan dilakukan pengujian awal untuk memastikan seluruh sensor dan aktuatur dapat berfungsi dengan baik.

4. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sistem monitoring suhu, api, dan asap berbasis Internet of Things (IoT) untuk pencegahan kebakaran pada ruang server BKPSDM Kabupaten Indramayu. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22 untuk pemantauan suhu dan kelembapan, sensor MQ-2 untuk deteksi asap dan gas mudah terbakar, serta flame sensor untuk identifikasi nyala api secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil selama 72 jam dengan rata-rata error suhu sensor DHT22 sebesar $\pm 0,31^{\circ}\text{C}$ dan latensi notifikasi Telegram rata-rata 2,18 detik, serta tingkat keberhasilan 100% pada seluruh skenario pengujian yang dilakukan. Sistem ini berhasil menggantikan metode pemantauan manual dengan menyediakan akses monitoring jarak jauh melalui platform Blynk dan notifikasi otomatis melalui Telegram Bot API, sehingga petugas dapat menerima informasi kondisi darurat secara cepat dan melakukan tindakan tanggap kebakaran dengan lebih efektif dan tepat waktu. Selain itu, sistem dilengkapi dengan mekanisme otomatisasi berupa servo motor yang mampu membuka ventilasi secara terkontrol ketika terdeteksi pengumpulan asap, sehingga dapat memperlancar sirkulasi udara dan mengurangi konsentrasi asap di dalam ruang server sebelum terjadi kebakaran. Temuan baru yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah model integrasi tiga sensor dengan aktuatur mekanis dan dual platform notifikasi (Blynk IoT dan Telegram) dalam satu prototype terpadu yang sebelumnya belum diterapkan pada sistem pengamanan ruang server instansi pemerintah daerah, sehingga menghasilkan sistem yang tidak hanya bersifat monitoring pasif, melainkan juga mampu memberikan respons aktif dan otomatis terhadap ancaman kebakaran.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diajukan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut. Bagi instansi BKPSDM Kabupaten Indramayu, sistem ini disarankan untuk segera diimplementasikan secara permanen dengan memastikan kestabilan koneksi Wi-Fi dan menyusun prosedur operasional standar tanggap darurat yang mengacu pada level notifikasi sistem, serta menyediakan sumber daya listrik cadangan khusus untuk sistem monitoring. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan sistem dengan menambahkan protokol komunikasi MQTT guna mengurangi latensi pengiriman data, mengintegrasikan sistem dengan fire suppression system atau modul pompa air otomatis, memperkuat aspek keamanan data dengan enkripsi end-to-end, menambahkan fitur penyimpanan data historis dan analisis tren menggunakan cloud database untuk analisis prediktif, serta menambahkan aktuatur tambahan seperti exhaust fan otomatis. Bagi pengembangan kurikulum akademik, hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi dan bahan studi kasus dalam mata kuliah Sistem Tertanam (Embedded Systems), Pemrograman Mikrokontroler, serta Sistem Informasi dan Keamanan Infrastruktur TI di Program Studi S1 Sistem Komputer, sehingga menghasilkan lulusan yang kompeten dalam bidang IoT dan otomasi sistem cerdas yang sangat dibutuhkan di dunia kerja.

REFERENCES

- Arifin, S., Wilyanti, S., & Olivia, A. (2025). Rancang Bangun Sistem Otomatis dan Monitoring Ruangan Dapur dari Kebakaran Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 25(1), 1020. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v25i1.5745>
- Asniati, A., Hasiri, E. M., & Rosmiani, W. O. (2022). Prototipe Sistem Pendeteksi Polusi Udara Menggunakan Sensor Asap Mq-2, Sensor Gas Mq-6 Dan Sensor Api Pada Ruangan Dengan

- Output Alarm Berbasis Mikrokontroler Arduino. Jurnal Informatika, 11(2), 137. <https://doi.org/10.55340/jiu.v11i2.1204>
- Asronika, N., Akyun, A., Lutfiyah Mahmudah, N., Wahyuningtyas, R., & Nugroho Pramudhita, A. (2024). Implementasi NodeMCU dan Blynk Dalam Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis IoT. Journal Software, Hardware and Information Technology, 4(1), 11–18. <https://doi.org/10.24252/shift.v4i1.100>
- Bakhtiar, A., Ramdhani, R., & Rakhmadian, R. F. (2025). Sistem Deteksi dan Pemadaman Kebakaran Otomatis Berbasis ESP32 dengan Monitoring Jarak Jauh. 491–499.
- Candra Supriadi, & Priyadi. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring Deteksi Dini Kebakaran Ruang Server Berbasis Iot. Jurnal Ilmiah Sistem Informasi, 3(3), 35–45. <https://doi.org/10.51903/432zjf74>
- Dhimas Ghoza, S., Latifa, U., & Abdi Bangsa, I. (2024). Perancangan Smoke Detector Berbasis Sensor Mq-135 Dan Mikrokontroler Esp32 Sebagai Deteksi Dini Kebakaran. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 8(3), 4344–4350. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i3.9881>
- Dwi Waluyo, B. (2024). Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas Dan Kebakaran Menggunakan Node Mcu Esp 8266 Dengan Notifikasi Telegram. JURNAL PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK ELEKTRONIKA (JVoTE), 7(2), 65–74. <https://doi.org/10.21009/jvote.v7i2.54686>
- Fasya, M. R., Zaenudin, Muhamad Masjun Efendi, & Lalu Delsi Samsumar. (2024). Implementasi Sistem Peringatan Dini Kebakaran Rumah Berbasis Internet of Things (Iot). Journal of Computer Science and Information Technology, 1(4), 369–378. <https://doi.org/10.70248/jcsit.v1i4.1286>
- Frosedo Brilian Bintang Syahara, Salsabila Ika Yuniza, Anggara Trisna Nugraha, Rini Indarti, & Urip Mudjiono. (2023). Prototype Sistem Control Suhu Dan Monitoring Kelayakan Tingkat Kekeruhan Dan Viskositas Minyak Pada Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things. Jurnal 7 Samudra, 8(1), 7–13. <https://doi.org/10.54992/7samudra.v8i1.135>
- Halim, D., & Sakti, D. V. S. Y. (2021). Sistem Peringatan Dini Dengan Multi Sensor Berbasis Arduino Untuk Monitoring Ruang Server. Skanika, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.36080/skanika.v4i1.2109>
- Hana Syafira, A., Pradana, R., Aryasanti, A., & Pudoli, A. (2022). Rancangan Sistem Pemantau Kebocoran Gas dan Api Berbasis Internet of Things Menggunakan MQ-2 dan Flame Sensor Module. In Jurnal Ticom: Technology of Information and Communication (Vol. 10, Issue 2, pp. 93–99). <https://doi.org/10.70309/ticom.v10i2.23>
- Haryanto, H., Paryanta, P., Aji, A., & Sulistyani, M. (2023). Sistem Monitoring Kebakaran Rumah Berbasis Internet Of Things. Go Infotech: Jurnal Ilmiah STMIK AUB, 29(2), 147–158. <https://doi.org/10.36309/goi.v29i2.212>
- Hernoko, M. G., Adi Wibowo, S., & Vendyansyah, N. (2021). PENERAPAN IoT (Internet of Things) SMART PARKING SYSTEM DAN PENDETEKSI KEBAKARAN DENGAN FITUR MONITORING. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 5(1), 261–267. <https://doi.org/10.36040/jati.v5i1.3281>
- Indra Ava Dianta, Moh Muthohir, Ilham Ramasyahdani, & Fatkhul Amin. (2022). Perancangan Alat Pendeteksi Asap dan Suhu Ruangan Berbasis Internet Of Think di PT. APAC Inti Corpora. Elkom : Jurnal Elektronik Dan Komputer, 15(2), 450–455. <https://doi.org/10.51903/elkom.v15i2.859>
- Iqbal, M. (2025). Aplikasi Simulasi IoT Untuk Smart Sistem Monitoring dan Data Logging Real Time Sistem Peringatan Kebakaran. Reputasi: Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak, 6(1), 52–57. <https://doi.org/10.31294/reputasi.v6i1.8952>
- Jusril, Nasruddin, Ridwang, A. (2025). Pengembangan Sistem Monitoring Dan Pengendali Kebocoran Gas Berbasis Internet of Things (Iot) Dengan Menggunakan Sensor Gas Mq Dan Sensor Api. 17, 37–49.
- Kusnadi, O. I., Munazilin, A., & Ghofur, A. (2024). PROTOTYPE SISTEM MONITORING, DETEKSI KEBAKARAN DAN NOTIFIKASI BERBASIS IoT (Internet of Things). Cetak) Journal of Innovation Research and Knowledge, 4(2), 593–602.
- M. Amirul Akbar P, Suwadi Nanra, & Jumadri JN. (2024). Perancangan Sistem Alarm Kebakaran Berbasis Iot Untuk Mendeteksi Kebakaran Secara Real-Time. Zona Elektro: Program Studi Teknik Elektro (S1) Universitas Batam, 14(3), 21–30. <https://doi.org/10.37776/ze.v14i3.1620>
- Nasichul, M., Zainul Abidin, R., & Tri Arsanto, A. (2024). Implementasi Sistem Monitoring Dan Kontrol Gas Lpg Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan Sensor Gas Mq-5. JATI (Jurnal

- Mahasiswa Teknik Informatika), 8(5), 10233–10239. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i5.11011>
- Panjaitan, M., Gunoto, P., & Susanti, E. (2023). PERANCANGAN PROTOTYPE SMART WAREHOUSE MENGGUNAKAN FIRE PROTECTION SYSTEM BERBASIS IoT (INTERNET OF THINGS). *Sigma Teknika*, 6(2), 368–376. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5620>
- Pridiantoko Putro, A., Arrival Hidayat, D., Fauzan Heratama, F., Dwi Cahyo, A., Eka Yulian, D., & Agung Prabowo Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Y. (2023). SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dengan Sensor MQ2 Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Elektro*, 217–224. <https://ejurnal.itats.ac.id/snestikdanhttps://snestik.itats.ac.id>
- Rahman, T., Tri susilo, A. A., & Lestari, W. (2020). Sistem Monitoring Suhu, Asap Dan Api Ruang Server Ict Universitas Bina Insan Menggunakan Arduino Berbasis Website. *Jusikom : Jurnal Sistem Komputer Musirawas*, 5(1), 33–40. <https://doi.org/10.32767/jusikom.v5i1.814>
- Rikhi, M., Setiyaningsih, T., & Norman, S. S. (2024). P Pengembangan Teknologi Internet of Things Pendeteksi Kebakaran Untuk Ruang Server Dilengkapi Pemantauan Real-Time Melalui Closed Circuit Television (Cctv) Dan Notifikasi Whatsapp Serta Monitoring Menggunakan Grafana. In *Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik Universitas Darma Persada* (Vol. 14, Issue 1, pp. 112–119). <https://doi.org/10.70746/jstunsada.v14i1.492>
- Riyadi, A., Nursanti, E., & Galuh, J. H. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Deteksi Kebakaran Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Menurunkan Risiko Kebakaran. *Jurnal Valtech*, 7(1), 123–128. <https://doi.org/10.36040/valtech.v7i1.9272>
- Rizkhi, M., & Syofian, S. (2025). Pengembangan Teknologi Internet Of Things Pendeteksi Kebakaran untuk Ruang Server dilengkapi Pemantauan Real-Time dan Notifikasi Whatsapp Serta Monitoring menggunakan Grafana. *Journal TIFDA (Technology Information and Data Analytic)*, 2(1), 1–4. <https://doi.org/10.70491/tifda.v1i2.43>
- Salindeho, G. G., & Wellem, T. (2023). Perancangan Dan Implementasi Sistem Pendeteksi Dan Peringatan Kebakaran Berbasis Iot Menggunakan Nodemcu Esp8266 Dan Sensor Api. *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 2(3), 179–191. <https://doi.org/10.24246/itexplore.v2i03.2023.pp179-191>
- Saloom, Z., I Gde Putu Wirarama Wedashwara W, & Ahmad Zafrullah M. (2023). Sistem Monitoring Deteksi Kebakaran Bangunan Berbasis IOT dan Android dengan Google Maps API. *Journal of Computer Science and Informatics Engineering (J-Cosine)*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.29303/jcosine.v7i1.383>
- Satryawan, M. A., & Susanti, E. (2023). PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI KUALITAS UDARA DENGAN IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32. *Sigma Teknika*, 6(2), 410–419. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5646>
- Siregar, T. H., Sutisna, S. P., Pramono, G. E., & Ibrahim, M. M. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Iot Menggunakan Arduino. *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 59. <https://doi.org/10.32832/ame.v7i2.5063>
- Supriyanto, M., & Nugroho, F. A. (2022). Perancangan Sistem Pendeteksi Asap Dan Monitoring Kelembaban Suhu Pada Ruang Server Berbasis Internet of Things Menggunakan Metode Fuzzy Logic Studi Kasus : Ruang Server Yby.Net. *Informatika*, 3(1), 105–1442.
- Waworundeng, J. M. S. (2020). Desain Sistem Deteksi Asap dan Api Berbasis Sensor, Mikrokontroler dan IoT. *CogITo Smart Journal*, 6(1), 117–127. <https://doi.org/10.31154/cogito.v6i1.239.117-127>
- Wicaksana, D. A., & Hirzan, A. M. (2024). Pemantauan Kebocoran Gas Dan Panas Udara Dengan Metode Fuzzy Berbasiskan Iot. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 15(1), 125–132. <https://doi.org/10.51903/jtikp.v15i1.802>
- Zaenuar Erfandi, Hartanti, D., & Maulindar, J. (2025). Implementasi Internet of Things (IoT) Untuk Sistem Pemantauan Kebakaran Dini Dengan Notifikasi Telegram dan Alarm. *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, 8(1), 86–93. <https://doi.org/10.29408/jit.v8i1.28248>
- Zulkifli, Z., Muhallim, M., & Hasnahwati, H. (2024). Pengembangan Sistem Alarm Dan Pemadam Kebakaran Otomatis Menggunakan Internet of Things. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4774>