Modifikasi Sistem Keamanan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) Berbasis ESP32-CAM dan Sensor Api via Telegram

Agung Kurniawan Malau
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
agwanmal@student.telkomuniversity.ac.id

Akhmad Hambali
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

Uke Kurniawan Usman
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
ukeusman@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — *Optical Distribution Cabinet* (ODC) merupakan salah satu infrastruktur penting pada jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) yang berfungsi sebagai titik distribusi serat optik. ODC umumnya ditempatkan di area luar ruangan sehingga rentan terhadap berbagai gangguan, seperti vandalisme, pencurian, maupun kebakaran yang dapat mengganggu kontinuitas layanan telekomunikasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan ODC berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM dan sensor api yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram sebagai media pemantauan dan pengiriman notifikasi secara *real-time*. ESP32-CAM digunakan untuk mengambil serta mengirimkan gambar kondisi ODC kepada teknisi, sedangkan sensor api berfungsi mendeteksi potensi kebakaran dan mengirimkan peringatan secara otomatis melalui Telegram. Sistem kemudian diimplementasikan pada prototipe ODC dan diuji berdasarkan kualitas gambar ESP32-CAM, kemampuan deteksi sensor api, serta waktu pengiriman notifikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32-CAM mampu menghasilkan gambar yang jelas hingga jarak 2 meter dengan rata-rata waktu pengiriman sebesar 5,73 detik. Sensor api memiliki tingkat keberhasilan deteksi rata-rata sebesar 95% pada jarak deteksi efektif dengan rata-rata waktu pengiriman notifikasi sebesar 5,20 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memberikan pemantauan visual dan peringatan dini secara *real-time*, sehingga dapat meningkatkan keamanan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) serta mendukung proses pemeliharaan infrastruktur jaringan FTTH.**

Kata kunci*— ODC, ESP32-CAM, Sensor Api, Telegram, *Internet of Things

I. PENDAHULUAN

Perkembangan jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) meningkatkan kebutuhan akan infrastruktur distribusi serat optik yang andal untuk menjaga kontinuitas layanan telekomunikasi. Salah satu komponen penting pada jaringan FTTH adalah *Optical Distribution Cabinet* (ODC) yang berfungsi sebagai titik distribusi antara kabel feeder dan kabel distribusi menuju pelanggan [1]. Menurut pedoman desain jaringan akses optik PT Telekomunikasi Indonesia, ODC berperan sebagai titik terminasi dan distribusi serat optik yang menghubungkan jaringan feeder dengan jaringan distribusi menuju pelanggan [2]. ODC umumnya ditempatkan di area luar ruangan sehingga rentan terhadap gangguan seperti vandalisme, pencurian perangkat, dan kebakaran yang dapat menyebabkan terganggunya layanan telekomunikasi.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan berbagai perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet secara otomatis [3]. Salah satu perangkat yang banyak digunakan pada sistem pemantauan berbasis IoT adalah ESP32-CAM karena telah dilengkapi modul kamera dan konektivitas Wi-Fi dalam satu perangkat [4]. Penelitian yang dilakukan oleh Nur Yasin menunjukkan bahwa integrasi ESP32-CAM dengan Telegram mampu mengirimkan informasi visual secara *real-time* sehingga dapat dimanfaatkan untuk sistem keamanan dan pemantauan jarak jauh [5].

Selain pemantauan visual, sistem keamanan ODC juga memerlukan kemampuan deteksi dini terhadap potensi kebakaran. Sensor api bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh nyala api dan menghasilkan sinyal keluaran ketika intensitas cahaya yang diterima melebihi nilai ambang tertentu [6]. Penerapan sensor api pada sistem berbasis IoT memungkinkan proses pemantauan kondisi lingkungan dilakukan secara otomatis serta mampu mengirimkan peringatan kepada pengguna ketika terdeteksi adanya potensi kebakaran [7].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, implementasi ESP32-CAM dan sensor api pada sistem keamanan ODC masih jarang dilakukan secara terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM dan sensor api yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan pemantauan visual dan peringatan dini secara *real-time* sehingga dapat meningkatkan keamanan serta mendukung keandalan infrastruktur jaringan FTTH.

II. KAJIAN TEORI

A. *Optical Distribution Cabinet* (ODC)

Optical Distribution Cabinet (ODC) merupakan salah satu perangkat penting pada jaringan *Fiber to the Home* (FTTH) yang berfungsi sebagai titik distribusi antara kabel feeder dari *Optical Line Terminal* (OLT) menuju kabel distribusi yang terhubung ke *Optical Distribution Point* (ODP) [1]. Berdasarkan pedoman desain jaringan akses optik PT Telekomunikasi Indonesia, ODC berfungsi sebagai tempat terminasi, penyambungan, dan pembagian serat optik

sehingga memudahkan proses pengelolaan serta pemeliharaan jaringan distribusi [2].

ODC umumnya dipasang di area luar ruangan sehingga rentan terhadap berbagai gangguan, seperti vandalisme, pencurian perangkat, maupun kebakaran yang dapat menyebabkan terganggunya layanan telekomunikasi. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang mampu melakukan pemantauan kondisi ODC secara *real-time* sehingga potensi gangguan dapat diketahui lebih cepat dan proses penanganan dapat segera dilakukan.

B. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga mampu saling bertukar data dan berkomunikasi secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung [3]. Teknologi IoT memungkinkan proses pengumpulan data, pengolahan informasi, hingga penyampaian hasil pemantauan dilakukan secara *real-time* sehingga banyak diterapkan pada sistem pemantauan dan keamanan.

Dalam penelitian ini, konsep IoT diterapkan dengan memanfaatkan ESP32-CAM dan sensor api yang terhubung ke jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan informasi berupa gambar maupun notifikasi ke aplikasi Telegram. Dengan demikian, kondisi ODC dapat dipantau dari jarak jauh sehingga memudahkan teknisi dalam melakukan pengawasan terhadap potensi gangguan yang terjadi.

C. ESP32-CAM

ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler berbasis ESP32 yang dilengkapi kamera OV2640 beresolusi hingga 2 megapiksel serta memiliki konektivitas Wi-Fi. Kombinasi tersebut memungkinkan ESP32-CAM melakukan pengambilan gambar sekaligus mengirimkan hasilnya melalui jaringan internet tanpa memerlukan perangkat tambahan [4]. Dengan ukuran yang ringkas, konsumsi daya yang relatif rendah, serta kemampuan pemrosesan yang baik, ESP32-CAM banyak dimanfaatkan pada sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT).

Pada penelitian ini, ESP32-CAM digunakan sebagai perangkat pemantauan visual pada *Optical Distribution Cabinet* (ODC). Kamera akan mengambil gambar kondisi ODC, kemudian mengirimkannya melalui aplikasi Telegram sehingga teknisi dapat memantau kondisi kabinet secara *real-time*. Informasi visual tersebut diharapkan dapat membantu proses identifikasi apabila terjadi gangguan atau kondisi yang memerlukan penanganan segera.

D. Sensor Api

Sensor api merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan nyala api berdasarkan radiasi inframerah *(infrared)* yang dipancarkan oleh sumber api [6]. Ketika intensitas radiasi yang diterima melebihi nilai ambang *(threshold)* yang telah ditentukan, sensor akan menghasilkan sinyal keluaran yang selanjutnya diproses oleh mikrokontroler sebagai indikasi adanya potensi kebakaran. Karakteristik tersebut menjadikan sensor api banyak digunakan sebagai sistem peringatan dini pada berbagai aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) [7].

Pada penelitian ini, sensor api ditempatkan di dalam prototipe ODC untuk mendeteksi adanya potensi kebakaran. Ketika sensor mendeteksi nyala api, ESP32 akan memproses informasi tersebut dan secara otomatis mengirimkan notifikasi beserta gambar kondisi ODC melalui aplikasi Telegram. Dengan demikian, teknisi dapat segera mengetahui adanya kondisi darurat dan melakukan tindakan penanganan secara cepat.

E. Telegram

Telegram merupakan aplikasi layanan pesan instan berbasis cloud yang menyediakan fitur Bot API sehingga dapat diintegrasikan dengan berbagai perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT). Melalui Bot API, mikrokontroler dapat mengirimkan pesan, gambar, maupun dokumen secara otomatis kepada pengguna melalui jaringan internet [5].

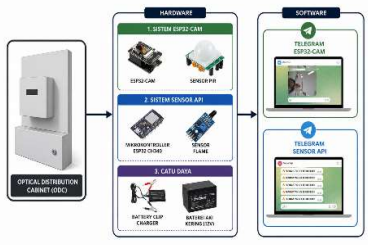
Pada penelitian ini, Telegram digunakan sebagai media pengiriman notifikasi dan hasil tangkapan gambar dari ESP32-CAM ketika sensor api mendeteksi adanya potensi kebakaran. Pemanfaatan Telegram memungkinkan teknisi memperoleh informasi kondisi ODC secara *real-time* tanpa harus berada di lokasi, sehingga proses pemantauan dan penanganan gangguan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien.

III. METODE

A. Rancangan Penelitian

Pengujian dilakukan terhadap setiap subsistem maupun sistem secara keseluruhan untuk mengetahui kinerja perangkat yang digunakan. Pengujian ESP32-CAM dilakukan dengan mengamati kualitas gambar berdasarkan beberapa variasi jarak objek serta mengukur waktu pengiriman gambar ke aplikasi Telegram [4]. Pengujian sensor api dilakukan menggunakan beberapa variasi jarak sumber api untuk mengetahui tingkat keberhasilan deteksi dan waktu pengiriman notifikasi melalui Telegram[7]. Seluruh hasil pengujian dianalisis berdasarkan persentase keberhasilan dan rata-rata waktu respons untuk mengevaluasi performa sistem keamanan yang telah dikembangkan [5].

B. Perancangan Sistem

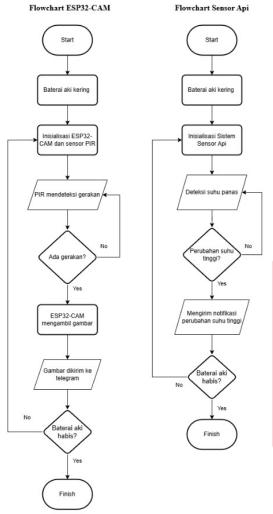


GAMBAR 1
BLOK DIAGRAM MODIFIKASI ODC

Sistem keamanan yang dikembangkan terdiri atas ESP32 sebagai pengendali utama, ESP32-CAM sebagai perangkat pemantauan visual, sensor api sebagai pendeteksi potensi kebakaran, serta aplikasi Telegram sebagai media pengiriman notifikasi dan gambar secara *real-time*. Seluruh perangkat terhubung melalui jaringan Wi-Fi sehingga mampu berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis sesuai dengan konsep *Internet of Things* (IoT) [3]. Ketika sensor api mendeteksi adanya nyala api, ESP32 akan memproses data

yang diterima, mengaktifkan ESP32-CAM untuk mengambil gambar kondisi ODC, kemudian mengirimkan gambar beserta notifikasi peringatan kepada pengguna melalui aplikasi Telegram.

C. Tahapan Penelitian



GAMBAR 2
FLOWCHART SISTEM

Tahapan penelitian diawali dengan melakukan studi literatur mengenai *Optical Distribution Cabinet* (ODC), *Internet of Things* (IoT), ESP32-CAM, sensor api, dan Telegram sebagai landasan teori dalam perancangan sistem. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sesuai dengan kebutuhan sistem keamanan ODC, kemudian seluruh komponen diimplementasikan pada prototipe yang telah dirancang. Setelah proses implementasi selesai, dilakukan integrasi antara ESP32, ESP32-CAM, sensor api, dan aplikasi Telegram melalui jaringan Wi-Fi sehingga sistem mampu mengirimkan gambar serta notifikasi secara *real-time* [4], [5]. Tahap berikutnya adalah melakukan pengujian terhadap setiap subsistem maupun sistem secara keseluruhan untuk mengevaluasi kualitas gambar ESP32-CAM, kemampuan deteksi sensor api, serta waktu pengiriman notifikasi melalui Telegram [6], [7]. Hasil pengujian kemudian dianalisis berdasarkan parameter tingkat keberhasilan dan waktu respons untuk mengevaluasi performa sistem yang dikembangkan. Alur keseluruhan penelitian digambarkan melalui *flowchart* yang menunjukkan proses pendeteksian api, pengambilan gambar oleh ESP32-CAM, serta pengiriman notifikasi dan gambar kepada pengguna melalui aplikasi Telegram.

D. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengujian langsung terhadap prototipe *Optical Distribution Cabinet* (ODC), meliputi kualitas gambar ESP32-CAM, keberhasilan deteksi sensor api, waktu pengiriman gambar, serta waktu pengiriman notifikasi melalui aplikasi Telegram. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang berasal dari jurnal ilmiah, buku, standar telekomunikasi, dan dokumentasi teknis yang berkaitan dengan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) dan sistem keamanan berbasis *Internet of Things* (IoT) [1], [3].

E. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan terhadap setiap subsistem maupun sistem secara keseluruhan untuk mengetahui kinerja sistem keamanan yang dikembangkan. Pengujian ESP32-CAM dilakukan dengan mengamati kualitas gambar pada beberapa variasi jarak objek serta mengukur waktu pengiriman gambar melalui aplikasi Telegram [4], [5]. Pengujian sensor api dilakukan menggunakan beberapa variasi jarak sumber api untuk mengetahui tingkat keberhasilan deteksi dan waktu pengiriman notifikasi melalui Telegram [6], [7]. Hasil pengujian kemudian dianalisis berdasarkan persentase keberhasilan dan rata-rata waktu respons untuk mengevaluasi performa sistem yang telah dikembangkan.

F. Analisis Perhitungan

Pada penelitian ini dilakukan analisis konsumsi daya untuk mengetahui kebutuhan energi sistem keamanan ODC selama beroperasi menggunakan baterai aki kering 12 V 12 Ah. Analisis dilakukan menggunakan persamaan daya listrik, konsumsi energi, dan estimasi lama operasi baterai yang disajikan pada Persamaan (1) sampai Persamaan (3) [8], [9].

Energi yang tersimpan pada baterai dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) [10].

$$E = V \times Ah$$

dimana:

E = Energi baterai (Wh)

V = Tegangan baterai (Volt)

Ah = Kapasitas baterai (Ampere-hour)

Besarnya daya listrik yang digunakan oleh setiap perangkat dapat dihitung menggunakan Persamaan (2)[10].

$$P = V \times I \quad (2)$$

dimana:

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan kerja perangkat (Volt)

I = Arus kerja perangkat (Ampere)

Secara umum, hubungan antara energi, daya, dan waktu dinyatakan dalam Persamaan (3)[9].

$$E = P \times t \quad (3)$$

dimana:

E = Energi (Wh)

P = Daya (W)

t = Waktu (jam)

Total konsumsi energi dihitung sebagai penjumlahan energi pada masing-masing kondisi operasi dengan Persamaan (4) [11], [12].

$$E_{total} = E_{siaga} + E_{aktif} \quad (4)$$

Jika kondisi aktif terjadi beberapa kali selama periode pengamatan, maka energi pada kondisi aktif dapat dihitung menggunakan Persamaan (5)[11], [12].

$$E_{aktif} = n \times P_{aktif} \times t_{kejadian} \quad (5)$$

dengan n adalah jumlah aktivasi, P aktif adalah daya saat aktif, dan t_kejadian adalah durasi setiap aktivasi. Model ini banyak digunakan untuk menganalisis konsumsi energi pada perangkat berbasis *duty cycle*.

Daya rata-rata sistem menunjukkan besarnya daya ekuivalen yang digunakan selama periode pengamatan dan

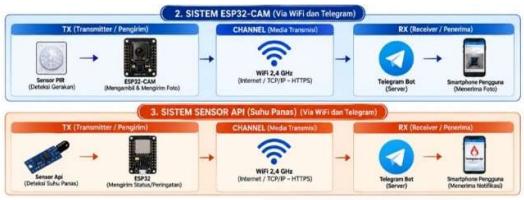
dihitung dengan membagi total energi terhadap total waktu operasi dengan persamaan (6)[9].

$$P_{rata-rata} = E_{total} / t_{total} \quad (6)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Sistem keamanan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama yang terintegrasi dengan ESP32-CAM, sensor api, dan aplikasi Telegram sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada tahap penelitian. ESP32 berfungsi mengelola komunikasi antarperangkat serta memproses data yang diterima dari sensor api. Ketika sensor api mendeteksi adanya potensi kebakaran, ESP32 akan mengaktifkan ESP32-CAM untuk mengambil gambar kondisi ODC, kemudian mengirimkan gambar beserta notifikasi peringatan kepada pengguna melalui aplikasi Telegram secara *real-time*. Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan fungsi yang telah dirancang sehingga sistem mampu melakukan pemantauan visual dan memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran pada ODC.



GAMBAR 3
IMPLEMENTASI SISTEM

B. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan terhadap setiap komponen sistem untuk mengetahui tingkat keberhasilan, waktu respons, dan kemampuan integrasi antarperangkat. Pengujian meliputi ESP32-CAM, sensor api, dan aplikasi Telegram sebagai media pengiriman gambar serta notifikasi. Seluruh pengujian dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil yang konsisten dan merepresentasikan kondisi operasional sistem.

1) Pengujian ESP32-CAM

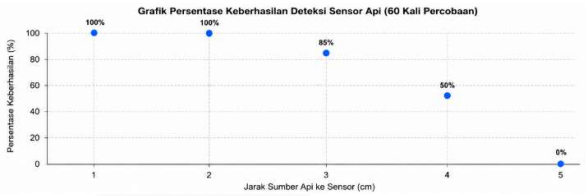
Pengujian ESP32-CAM dilakukan untuk mengevaluasi kualitas gambar berdasarkan variasi jarak objek serta waktu pengiriman gambar ke Telegram. Berdasarkan hasil pengujian, ESP32-CAM mampu menghasilkan gambar yang sangat jelas pada jarak hingga 2 meter, sedangkan pada jarak di atas 2 meter kualitas gambar mulai menurun sehingga objek menjadi kurang mudah dikenali. Rata-rata waktu pengiriman gambar ke Telegram adalah 5,73 detik, yang menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi visual secara *real-time* kepada pengguna.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN ESP32-CAM DENGAN SENSOR PIR

Jarak Objek dari Kamera	Kualitas Gambar	Keterangan
0,5 meter	Sangat Jelas	Wajah, bentuk tubuh, dan atribut objek terlihat dengan sangat jelas.
1 meter	Jelas	Wajah dan bentuk tubuh masih terlihat jelas.
2 meter	Cukup Jelas	Wajah mulai kehilangan detail, tetapi bentuk tubuh masih jelas.
3 meter	Kurang Jelas	Bentuk tubuh masih terlihat, namun detail wajah mulai kabur.
4 meter	Tidak Jelas	Wajah tidak dapat dikenali, hanya siluet atau bentuk tubuh yang terlihat.

2) Pengujian Sensor Api

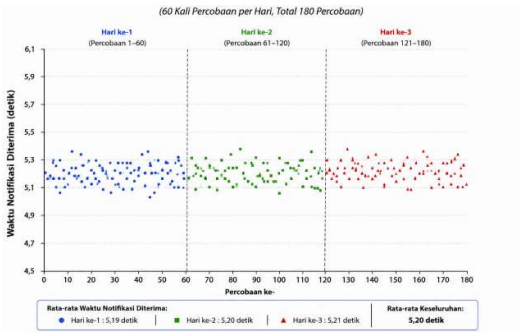
Pengujian sensor api dilakukan dengan memberikan sumber panas pada beberapa variasi jarak untuk mengetahui kemampuan deteksi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% pada jarak 1–2 cm dan rata-rata keberhasilan mencapai 95% pada jarak deteksi efektif. Ketika sensor mendeteksi adanya suhu panas, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi melalui Telegram dengan rata-rata waktu pengiriman 5,20 detik, sehingga mampu berfungsi sebagai sistem peringatan dini terhadap potensi lonjakan suhu panas.



GAMBAR 4
HASIL PENGUJIAN SENSOR API BERDASARKAN VARIASI JARAK SUMBER API

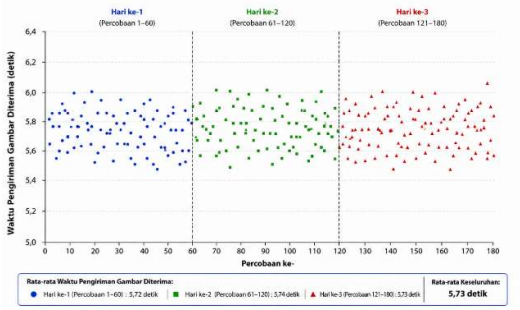
3) Pengujian Telegram dan GoLite IoT

Pengujian Telegram menunjukkan bahwa seluruh notifikasi berupa pesan maupun gambar berhasil dikirimkan sesuai kondisi yang terjadi pada sistem. Notifikasi dikirim ketika RFID berhasil melakukan autentikasi maupun ketika sensor api mendeteksi adanya suhu panas. Selain itu, pengujian GoLite IoT menunjukkan bahwa seluruh aktivitas akses pengguna berhasil direkam pada basis data secara *real-time,* sehingga administrator dapat memantau riwayat penggunaan ODC melalui *dashboard.* Integrasi kedua platform tersebut menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dalam mendukung fungsi *monitoring system.*



GAMBAR 5
PENGUJIAN DELAY TELEGRAM SENSOR API

Pada gambar waktu pengiriman notifikasi berada pada rentang sekitar 5,05–5,38 detik. Rata-rata waktu notifikasi pada hari pertama adalah 5,19 detik, hari kedua 5,20 detik, dan hari ketiga 5,21 detik, sehingga diperoleh rata-rata keseluruhan sebesar 5,20 detik. Grafik menunjukkan bahwa waktu respons sistem cenderung stabil pada seluruh percobaan dengan variasi yang relatif kecil. Konsistensi waktu pengiriman menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik, sedangkan variasi kecil pada beberapa percobaan dipengaruhi oleh kondisi jaringan internet dan respons server Telegram. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengirimkan notifikasi kebakaran dengan rata-rata waktu 5,20 detik, sehingga peringatan dapat diterima pengguna dengan cepat.



GAMBAR 6
PENGUJIAN DELAY TELEGRAM ESP32-CAM

waktu pengiriman gambar berada pada rentang 5,47–6,06 detik. Rata-rata waktu pengiriman pada hari pertama sebesar 5,72 detik, hari kedua 5,74 detik, dan hari ketiga 5,73 detik, sehingga diperoleh rata-rata keseluruhan sebesar 5,73 detik. Sebaran data pada grafik menunjukkan bahwa waktu pengiriman gambar relatif stabil tanpa adanya lonjakan waktu yang signifikan.

Perbedaan waktu pada setiap percobaan dipengaruhi oleh kualitas koneksi Wi-Fi, proses pengambilan gambar ESP32-CAM, dan respons Telegram Bot API. Pada penelitian ini, ESP32-CAM belum terintegrasi langsung dengan sensor PIR sehingga pengiriman gambar menggunakan *delay* 5 detik. Meskipun demikian, sistem tetap mampu mengirimkan gambar secara konsisten dengan rata-rata waktu 5,73 detik.

C. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem keamanan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) yang dikembangkan mampu mengintegrasikan ESP32-CAM, sensor api, dan aplikasi Telegram dalam satu sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Berdasarkan hasil pengujian, ESP32-CAM mampu menghasilkan gambar yang jelas hingga jarak 2 meter dan mengirimkannya ke Telegram dengan rata-rata waktu 5,73 detik. Selain itu, sensor api memiliki tingkat keberhasilan deteksi rata-rata sebesar 95% dengan rata-rata waktu pengiriman notifikasi sebesar 5,20 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi visual dan peringatan dini secara *real-time*, sehingga memudahkan teknisi dalam memantau kondisi ODC dan melakukan penanganan lebih cepat ketika terjadi potensi kebakaran. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat mendukung peningkatan keamanan serta membantu menjaga keandalan infrastruktur jaringan FTTH.

D. Pengembangan Penelitian Selanjutnya

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan sensor suhu, sensor asap, sensor kelembapan, atau sensor getaran untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi berbagai potensi gangguan pada *Optical Distribution Cabinet* (ODC). Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi cloud atau aplikasi berbasis web sebagai media pemantauan sehingga informasi kondisi ODC dapat diakses dengan lebih fleksibel. Pengujian pada ODC berukuran sebenarnya di lingkungan operasional juga perlu dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem pada kondisi nyata.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan *Optical Distribution Cabinet* (ODC) berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32-CAM, sensor api, dan aplikasi Telegram. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan visual serta memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32-CAM mampu menghasilkan gambar yang jelas hingga jarak 2 meter dengan rata-rata waktu pengiriman sebesar 5,73 detik, sedangkan sensor api memiliki tingkat keberhasilan deteksi rata-rata sebesar 95% dengan rata-rata waktu pengiriman notifikasi sebesar 5,20 detik. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian dan mampu meningkatkan keamanan ODC melalui pemantauan visual serta penyampaian informasi secara cepat kepada pengguna melalui aplikasi Telegram. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam mendukung keamanan dan pemeliharaan infrastruktur jaringan FTTH.

REFERENSI

[1] PT Telekomunikasi Indonesia (Persero) Tbk, “Pedoman Desain dan Planning i-ODN,” Jakarta, 2021.

[2] L. Asdianty, K. Usman, and A. Hambali, “Smart Lock System for Optical Distribution Cabinet Using RFID and Hydraulic Mechanism,” *Asian Journal of Social and Humanities*, vol. 3, p. 2025, [Online]. Available: https://ajosh.org/

[3] A. Nur Yasin, "Sistem Keamanan Toko IoT: Integrasi ESP32-CAM dan Telegram IoT Store Security System: ESP32-CAM and Telegram Integration," *Juni*, vol. 18, no. 2, pp. 218–231, 2026, doi: 10.22303/csrid.18.2.2026.218-231.

[4] V. Spurny, P. Munster, A. Tomasov, T. Horvath, and E. Skaljo, "Physical Layer Components Security Risks in Optical Fiber Infrastructures," *Sensors*, vol. 22, no. 2, p. 588, Jan. 2022, doi: 10.3390/s22020588.

[5] A. Hasib, A. S. M. A. S. Akib, N. Das Ankur, and A. Giri, "Dual-Modality IoT Framework for Integrated Access Control and Environmental Safety Monitoring with Real-Time Cloud Analytics," Jan. 2026, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2601.20366

[6] H. S. Bakhtiar, A. Ilyas, A. Kholiq, and H. S. Bakhtiar, "The utilisation of scientific crime investigation methods and forensic evidence in the criminal investigation process in Indonesia," *Egypt. J. Forensic Sci.*, vol. 15, no. 1, p. 39, May 2025, doi: 10.1186/s41935-025-00456-y.

[7] W. M. Prayoga and A. Sani, "PERANCANGAN JARINGAN FIBER TO THE HOME (FTTH) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)," *EBID:Ekonomi Bisnis Digital*, vol. 1, no. 2, pp. 179–188, Dec. 2023, doi: 10.37365/ebid.v1i2.220.

[8] I. Suwanda, "Rancang Bangun Kunci Pintu Otomatis Sistem Rfid Berbasis Arduino Di Ruangan Laboratorium Teknologi Listrik Politeknik Negeri Ketapang," *Electrical Network Systems and Sources*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, Jan. 2023, doi: 10.58466/entries.v2i1.1153.

[9] M. Has, T. Xiong, F. Ben Abdesslem, and M. Kušek, "WebAssembly on Resource-Constrained IoT Devices: Performance, Efficiency, and Portability," Nov. 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2512.00035

[10] R. Hassan, F. Qamar, M. K. Hasan, A. H. M. Aman, and A. S. Ahmed, "Internet of Things and Its Applications: A Comprehensive Survey," *Symmetry (Basel).*, vol. 12, no. 10, p. 1674, Oct. 2020, doi: 10.3390/sym12101674.

[11] V. Gallant Smart and I. Cahyo Utomo, "System Smart Parking Berbasis Mikrokontroler ESP32 dan RFID Untuk Otomatisasi Akses Parkir di PT. Glory Industrial Semarang," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 5, no. 7, pp. 2055–2067, Jul. 2025, doi: 10.52436/1.jpti.899.

[12] H. Kurniawan and S. Hariyanto, "Designing Home Security With Esp32-Cam and IoT-Based Alarm Notification Using Telegram," *bit-Tech*, vol. 6, no. 2, pp. 95–102, Dec. 2023, doi: 10.32877/bt.v6i2.932.