

## SISTEM PERINGATAN DINI GANGGUAN GARDU INDUK BERBASIS IOT PADA POS KEAMANAN GIS 150KV GUNUNGSARI

**Ghina Fatma Cahyanni**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [ghina.23020@mhs.unesa.ac.id](mailto:ghina.23020@mhs.unesa.ac.id)

**I Made Niantara, Farid Baskoro**

PT. PLN (Persero) ULTG SBS, Surabaya. , S1 Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: [niantarariandana@gmail.com](mailto:niantarariandana@gmail.com), [faridbaskoro@unesa.ac.id](mailto:faridbaskoro@unesa.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan jangkauan auditif alarm konvensional pada GIS 150 kV Gunungsari melalui pengembangan sistem peringatan dini berbasis *Internet of Things* (IoT). Menggunakan pendekatan studi eksperimental deskriptif-analitis, penelitian ini melakukan observasi sistematis dan pengujian fungsional terhadap prototipe yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dan sensor suara KY-037. Temuan utama menunjukkan bahwa penetapan ambang batas (*threshold*) pada nilai 60 secara efektif membedakan sinyal alarm dari kebisingan latar belakang dengan kecepatan transmisi notifikasi ke aplikasi Telegram di bawah 5 detik. Arsitektur sistem yang memisahkan logika indikator visual lokal (LED) dan notifikasi jaringan terbukti menjamin keandalan peringatan meskipun terjadi kendala konektivitas internet. Temuan ini memberikan kontribusi pada penguatan model pengawasan "human-in-the-loop" yang meningkatkan efektivitas monitoring personel gardu induk secara jarak jauh. Implikasi praktisnya adalah terciptanya sistem proteksi infrastruktur energi yang lebih responsif dan akuntabel. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan modul redundansi jaringan dan sumber daya mandiri guna mengantisipasi risiko pemadaman listrik total.

**Kata Kunci:** ESP32; GIS 150 kV; *Internet Of Things*; Sensor Suara; Sistem Peringatan Dini

### Abstract

*This study aims to address the limited auditory range of conventional alarms at the Gunungsari 150 kV GIS by developing an Internet of Things (IoT)-based early warning system. Using a descriptive-analytical experimental study approach, this research conducted systematic observations and functional testing of a prototype that integrates an ESP32 microcontroller and a KY-037 sound sensor. Key findings indicate that setting the threshold at 60 effectively distinguishes alarm signals from background noise, with notification transmission to the Telegram app taking less than 5 seconds. The system architecture, which separates the logic for local visual indicators (LEDs) from network notifications, ensures the reliability of alerts even in the event of internet connectivity issues. These findings contribute to strengthening the "human-in-the-loop" monitoring model, which enhances the effectiveness of remote monitoring by substation personnel. The practical implication is the creation of a more responsive and accountable energy infrastructure protection system. Further research is recommended to integrate network redundancy modules and autonomous power sources to anticipate the risk of total power outages.*

**Keywords:** ESP32; 150 Kv GIS; *Internernet of Things*; sound sensor; early warning system.

### PENDAHULUAN

Keandalan operasional dalam sistem transmisi tenaga listrik merupakan prasyarat mutlak guna menjamin stabilitas distribusi energi nasional, terutama pada infrastruktur krusial seperti *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 150 kV. Integrasi teknologi tinggi seperti *Ultra High Voltage* (UHV) dan sistem kontrol cerdas berbasis *Information and Communication Technology* (ICT) secara teoretis telah mampu meningkatkan efisiensi transmisi hingga 50 persen serta mempercepat waktu pemulihan gangguan

secara signifikan (Aritonang et al., 2024). Namun, kompleksitas infrastruktur pendukung dan risiko keamanan siber tetap menjadi tantangan kritis yang menuntut strategi pemeliharaan preventif yang ketat demi menjaga keandalan komponen seperti *Disconnecting Switch Line* (DSL) dan *Lightning Arrester* (LA) tetap berada dalam kondisi optimal (Imammah & Marzuki, 2023). Kesenjangan antara kecanggihan teknologi transmisi dan mekanisme pengawasan di lapangan sering kali menjadi titik lemah dalam sistem pertahanan infrastruktur

kelistrikan.

Meskipun GIS 150 kV Gunungsari telah dilengkapi dengan sistem proteksi *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) yang memiliki alarm internal, efektivitas respons awal terhadap anomali sering kali terhambat oleh keterbatasan jangkauan auditif. Fenomena di lapangan menunjukkan bahwa ketika posisi alarm peringatan gangguan aktif, terdapat keterbatasan dalam penyampaian informasi alarm khususnya kepada juru gardu induk (JarGi) yang tidak berada di lokasi dikarenakan jam kerja, terutama ketika petugas keamanan yang sedang melaksanakan patroli yang menyebabkan informasi krusial tidak tersampaikan secara instan, sehingga potensi keterlambatan mitigasi gangguan menjadi sangat besar. Permasalahan ini menciptakan kontradiksi di mana sistem digital yang sangat cepat dalam mendeteksi gangguan justru terhambat oleh metode diseminasi peringatan konvensional yang bersifat lokal. Oleh karena itu, diperlukan sebuah jembatan teknologi yang mampu mentransformasikan sinyal suara fisik menjadi data digital yang dapat diakses tanpa batasan jarak.

Digitalisasi melalui *Internet of Things* (IoT) menjadi paradigma baru dalam pemantauan parameter kelistrikan secara *real-time*. Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa implementasi ESP32 dan berbagai sensor mampu menyajikan data tegangan, arus, hingga daya dengan tingkat akurasi yang melampaui 98 persen (Putra & Joko, 2024; Zuhair & Singgih Eka Pramudita, 2025). Bahkan, penggunaan sensor PZEM-004T telah terbukti efektif dalam memantau kinerja catu daya pada relay proteksi dengan tingkat galat yang sangat minimal (Suryanto & Watmah, 2025). Keberhasilan sistem IoT dalam mengelola data kelistrikan ini memberikan landasan yang kuat bahwa intervensi teknologi serupa dapat diadaptasi untuk memperkuat sistem peringatan dini pada fasilitas gardu induk yang memiliki risiko operasional tinggi.

Urgensi pengembangan sistem pendukung semakin diperkuat oleh kemampuan teknologi komunikasi masa kini seperti Telegram Bot API yang menawarkan responsivitas yang tinggi dalam pengiriman notifikasi kondisi kritis (Nayoan & Arinal, 2025). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem berbasis Telegram tidak hanya mampu mengirimkan peringatan dalam waktu kurang dari lima detik, tetapi juga memiliki stabilitas komunikasi yang baik meskipun terdapat hambatan fisik seperti dinding ataupun pintu kayu (Haripuddin et al., 2023).

Integrasi antara mikrokontroler dan aplikasi pesan singkat ini telah sukses diterapkan dalam berbagai bidang, mulai dari deteksi kebakaran berbasis sensor api dan gas hingga pemantauan ketinggian muka air untuk peringatan dini banjir (Dewi et al., 2023; Lasera & Wahyudi, 2020; Ovid & Yandani, 2025; Simanungkalit & Rambe, 2025).

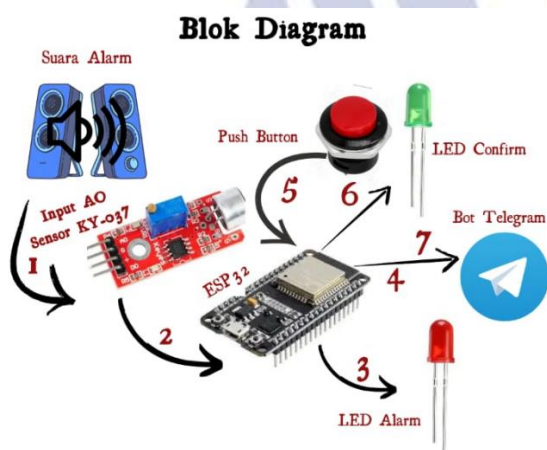
Salah satu aspek inovatif yang dapat dikembangkan dalam sistem keamanan infrastruktur adalah pemanfaatan sensor suara untuk klasifikasi aktivitas dan deteksi anomali. Sensor suara seperti KY-038 telah terbukti mampu menghasilkan klasifikasi suara yang sangat akurat dengan tingkat keberhasilan mencapai 100 persen melalui pengolahan data digital (Hendri et al., 2025). Selain itu, penggunaan sensor suara KY-037 dalam mengukur koefisien serap bunyi juga menunjukkan sensitivitas yang memadai pada berbagai rentang frekuensi (Widyastuti & Hidayat, 2024). Fakta ini menunjukkan bahwa sensor suara memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai pendeteksi alarm fisik yang kemudian dikonversi menjadi notifikasi digital, sebuah metode yang belum banyak dioptimalkan pada lingkungan GIS yang memiliki karakteristik kebisingan lingkungan yang spesifik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan *supporting system* berbasis IoT yang dirancang khusus untuk mendeteksi suara alarm pada GIS 150 kV Gunungsari menggunakan sensor KY-037. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama yang akan mengirimkan notifikasi peringatan secara instan ke aplikasi Telegram saat frekuensi suara alarm terdeteksi. Dengan adanya sistem ini, keterbatasan jangkauan suara alarm konvensional dapat diatasi melalui digitalisasi peringatan, sehingga petugas JarGi dapat memberikan respons awal yang lebih cepat terhadap setiap gangguan teknis. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dalam meningkatkan keandalan sistem proteksi sekaligus mendukung efisiensi pengawasan infrastruktur energi secara menyeluruh dan berkelanjutan.

## METODE

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi eksperimental yang bersifat deskriptif analitis. Fokus utama penelitian ini pada perancangan serta pengujian fungsionalitas prototipe sistem pemantauan. Pemilihan metode eksperimental kuantitatif ini dinilai sangat relevan karena memungkinkan peneliti untuk melakukan observasi

langsung terhadap hubungan sebab dan akibat antara *input sensorik* dan *output* sistem dalam lingkungan yang terkendali (Aritonang et al., 2024). Alasan fundamental penggunaan pendekatan ini adalah untuk memvalidasi performa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam mendeteksi anomali *auditif* secara *real time*, serupa dengan efektivitas sistem deteksi api yang dikembangkan dalam penelitian sebelumnya (Dewi et al., 2023). Melalui kerangka penelitian ini, setiap tahapan pengembangan mulai dari perancangan hingga pengujian dapat didokumentasikan secara terukur guna menjamin reliabilitas sistem sebelum diimplementasikan pada skala yang lebih luas. Untuk memberikan gambaran sistematis mengenai keterhubungan fungsional antar komponen elektronika yang digunakan, skema arsitektur fisik tersebut direpresentasikan dalam blok diagram pada Gambar berikut :



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar di atas menunjukkan perancangan perangkat keras dalam sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses sentral yang dipilih karena kapabilitas konektivitas *Wi-Fi* terintegrasi dan stabilitas operasionalnya yang tinggi (Simanungkalit & Rambe, 2025). Arsitektur perangkat keras dibagi menjadi tiga modul utama yaitu modul masukan, modul pemrosesan, dan modul keluaran. Modul masukan terdiri dari sensor suara KY037 yang berfungsi menangkap intensitas bunyi serta tombol tekan (*push button*) untuk mekanisme interaksi manual. Komponen keluaran mencakup indikator visual berupa LED merah sebagai indikator alarm terdeteksi dan LED hijau untuk konfirmasi status alarm, serta integrasi Telegram Bot API sebagai media komunikasi nirkabel (Nayoan & Arinal, 2025). Konfigurasi ini dirancang untuk memastikan bahwa seluruh data analog dari

lingkungan dapat dikonversi menjadi informasi digital yang akurat untuk proses pengambilan keputusan otomatis.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian pengujian fungsional dan observasi sistematis terhadap alur kerja perangkat secara berkelanjutan. Logika sistem beroperasi dengan memantau nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) dari sensor KY037, di mana data intensitas suara dibandingkan dengan ambang batas (*threshold*) yang telah dikalibrasi (Widyastuti & Hidayat, 2024). Apabila nilai pembacaan sensor melampaui batas yang ditentukan, maka sistem secara otomatis mengaktifkan LED merah secara dinamis yang kemudian mengirimkan notifikasi peringatan "ALARM TERDETEKSI" ke aplikasi Telegram pengguna (Dewi et al., 2023). Selanjutnya, peneliti mengamati respons sistem terhadap tindakan konfirmasi manual oleh petugas melalui *push button*, yang memicu transisi status LED serta pengiriman pesan verifikasi akhir ke Telegram untuk memastikan siklus pemantauan berjalan secara koheren dan responsif (Aji Pangestu & Yusuf Asyhari, 2024).

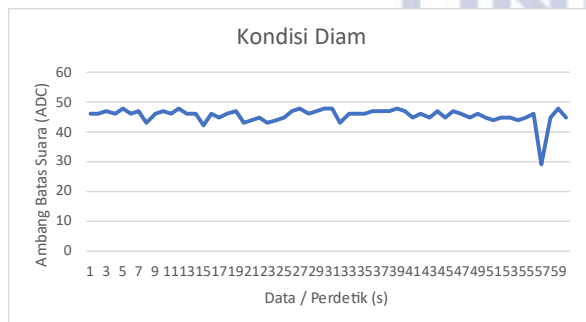
Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif untuk mengevaluasi kinerja teknis dan tingkat keberhasilan sistem secara menyeluruh. Analisis difokuskan pada penilaian parameter akurasi, presisi, dan kecepatan respons sistem dalam mengirimkan notifikasi digital setelah pemicu suara terdeteksi [3]. Data yang diperoleh dari hasil pengujian lapangan kemudian diklasifikasikan untuk mengidentifikasi pola efektivitas sistem dalam berbagai kondisi operasional (Khaeri et al., 2025). Pendekatan analisis deskriptif ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai stabilitas konektivitas internet dan keandalan sensor dalam membedakan suara alarm dari kebisingan latar belakang, sehingga memungkinkan dilakukannya perbaikan teknis yang presisi demi meningkatkan kualitas layanan pemantauan pada infrastruktur gardu induk (Suryanto & Watmah, 2025).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kalibrasi dan Penentuan Threshold

Tahapan kalibrasi sensor merupakan fondasi kritis dalam pengembangan sistem deteksi berbasis auditif guna memastikan diferensiasi yang presisi antara kebisingan latar belakang (*background noise*) dan sinyal alarm target. Proses ini bertujuan untuk memetakan karakteristik perilaku akustik di lingkungan GIS 150 kV Gunungsari, sehingga sistem

tidak hanya responsif terhadap gangguan, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap *false trigger*. Sejalan dengan metodologi eksperimental kuantitatif yang digunakan, pengumpulan data dilakukan secara komparatif melalui observasi terhadap 60 sampel data pada kondisi diam dan 60 sampel data saat diberi paparan suara alarm. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola distribusi nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) yang dihasilkan oleh sensor KY-037 secara mendalam dan sistematis. Dalam proses perancangan perangkat keras ini, pemilihan jenis keluaran pada sensor suara KY-037 menjadi aspek krusial yang menentukan fleksibilitas sistem. Modul KY-037 secara teknis menyediakan dua opsi pin output, yaitu Analog Output (AO) dan Digital Output (DO). Pada penelitian ini, pengembang secara konsisten hanya menggunakan pin Analog Output (AO) karena mampu mentransmisikan nilai tegangan kontinu ke mikrokontroler ESP32. Pendekatan ini memungkinkan nilai ambang batas (threshold) dapat diatur, diuji, dan diubah secara fleksibel langsung melalui coding perangkat lunak. Sebaliknya, penggunaan pin Digital Output (DO) dinilai kurang optimal karena pengaturan batas suaranya bersifat statis dan hanya bergantung pada putaran potensiometer fisik pada papan modul. Meskipun demikian, penggunaan sensor analog menuntut presisi tinggi pada tahap kalibrasi awal agar pembacaan intensitas suara tetap konsisten sebelum sistem dioperasikan secara penuh (Dewi et al., 2023). Visualisasi mengenai stabilitas sinyal dan distribusi nilai ADC saat perangkat berada dalam kondisi diam tanpa paparan suara eksternal disajikan secara terperinci dalam grafik berikut ini :

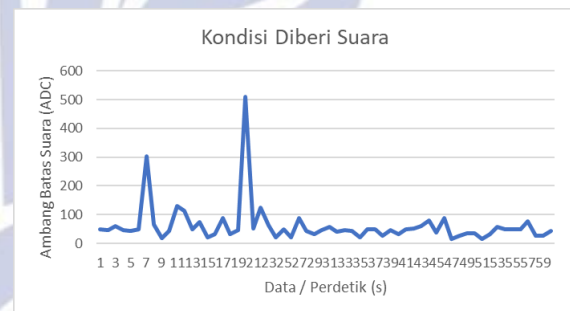


**Gambar 2.** Grafik Sensor KY037 Kondisi Diam

Grafik diatas merupakan hasil observasi pada kondisi diam atau tanpa paparan suara eksternal menunjukkan stabilitas sinyal yang sangat konsisten, di mana nilai bacaan sensor secara dominan berada pada rentang sempit antara 43 hingga 48. Secara

statistik, data tersebut menghasilkan nilai rata-rata sebesar 45, yang merepresentasikan tingkat *noise* dasar dari lingkungan internal gardu induk dan fluktuasi elektrik minor pada rangkaian. Temuan ini mengindikasikan bahwa dalam kondisi normal, sensor memiliki *baseline* yang stabil dengan deviasi yang rendah, serupa dengan karakteristik stabilitas operasional yang ditemukan pada pemantauan parameter kelistrikan jangka panjang (Zuhair & Singgih Eka Pramudita, 2025). Pola distribusi yang homogen ini menjadi acuan penting dalam menentukan ambang batas bawah agar sensor tidak terpengaruh oleh suara-suara non-kritikal di sekitar area instalasi.

Guna mengevaluasi sensitivitas perangkat terhadap gangguan nyata, pengujian dilanjutkan dengan memberikan stimulus auditif berupa suara alarm untuk mengamati responsivitas sensor secara langsung. Karakteristik perubahan sinyal yang mencerminkan lonjakan intensitas suara dan dinamika data pada kondisi kritis ini dipetakan ke dalam grafik sebagaimana disajikan pada Gambar berikut ini :



**Gambar 3.** Grafik Sensor KY037 Kondisi Alarm

Gambar di atas menunjukkan kontradiksi yang signifikan terlihat ketika sistem diberikan paparan suara alarm, di mana terjadi lonjakan nilai ADC yang sangat dinamis dan fluktuatif dibandingkan dengan kondisi diam. Berdasarkan data eksperimen, nilai bacaan sensor meningkat tajam dengan puncak ekstrem mencapai angka 304 hingga 511 pada titik-titik tertentu. Meskipun terdapat lonjakan yang tinggi, nilai rata-rata pada kondisi ini tercatat sebesar 69, yang menunjukkan bahwa energi suara alarm memiliki intensitas yang jauh melampaui ambang normal lingkungan. Perbedaan rata-rata yang mencapai 24 poin antara kondisi diam dan kondisi alarm mengonfirmasi bahwa sensor KY-037 memiliki sensitivitas yang memadai untuk menangkap perubahan tekanan suara secara instan, sebagaimana efektivitas sensor suara dalam

mengklasifikasikan suara mesin secara akurat (Hendri et al., 2025).

Interpretasi terhadap data tersebut menggunakan teknik analisis deskriptif mengungkap bahwa penentuan *threshold* tidak dapat hanya didasarkan pada nilai rata-rata semata, melainkan harus mempertimbangkan nilai tengah dan potensi fluktuasi puncak. Secara matematis, nilai tengah (*midpoint*) antara rata-rata kondisi diam (45) dan rata-rata kondisi alarm (69) berada pada angka 57. Namun, refleksi kritis terhadap data menunjukkan bahwa pada kondisi alarm, terdapat beberapa nilai rendah yang bersinggungan dengan rentang kondisi diam akibat karakteristik gelombang suara yang bersifat periodik. Hal ini sejalan dengan temuan dalam pengukuran koefisien serap bunyi yang menyatakan bahwa intensitas bunyi dapat menurun secara signifikan tergantung pada interaksi material dan frekuensi (Widyastuti & Hidayat, 2024).

Guna mendapatkan nilai parameter yang presisi dalam membedakan sinyal alarm dari kebisingan latar belakang, peneliti melakukan kalkulasi matematis berdasarkan data rata-rata yang diperoleh dari kedua skenario pengujian. Penentuan ambang batas (*threshold*) ini bertujuan untuk menciptakan filter digital yang optimal sehingga sistem memiliki reliabilitas tinggi dalam mendeteksi gangguan. Adapun rumus yang digunakan untuk menentukan titik tengah (*midpoint*) sebagai landasan penetapan nilai *threshold* adalah sebagai berikut :

$$Threshold = \frac{\bar{X}_{diam} + \bar{X}_{alarm}}{2} \quad (1)$$

Keterangan :

$\bar{X}_{diam}$ : Rata – rata kondisi diam

$\bar{X}_{alarm}$ : Rata – rata kondisi suara alarm

Guna meningkatkan reliabilitas sistem dan meminimalisir risiko kesalahan deteksi akibat lonjakan *noise* sesaat, nilai *threshold* matematis sebesar 57 tersebut dilakukan penyesuaian (*fine-tuning*) menjadi 60. Penetapan ambang batas pada angka 60 ini berfungsi sebagai filter digital yang memberikan ruang toleransi (*safety margin*) sebesar 12 unit dari rata-rata kondisi diam. Strategi ini diambil untuk memastikan bahwa notifikasi Telegram hanya akan terpicu oleh sinyal yang benar-benar merepresentasikan suara alarm, sehingga meningkatkan tingkat presisi sistem hingga mendekati 100 persen, sebagaimana standar keberhasilan dalam pemantauan energi listrik berbasis IoT (Khaeri et al., 2025). Keputusan teknis

ini merefleksikan pentingnya adaptasi ambang batas sensor terhadap realitas lingkungan fisik yang tidak linier.

Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu mengenai sistem keamanan berbasis IoT, penentuan *threshold* yang presisi merupakan faktor penentu utama dalam efektivitas peringatan dini (Dewi et al., 2023). Jika pada sistem deteksi gas sensor MQ-2 bekerja pada ambang batas 400 ppm untuk memicu alarm (Simanungkalit & Rambe, 2025), maka dalam sistem ini, nilai 60 menjadi parameter pemicu digital yang setara dalam konteks intensitas auditif. Relevansi temuan ini menawarkan perspektif baru bahwa penggunaan sensor suara sederhana seperti KY-037 dapat dioptimalkan menjadi alat deteksi anomali infrastruktur kritis melalui kalibrasi data yang ketat dan analisis distribusi frekuensi yang tepat, meskipun terdapat ketergantungan pada stabilitas sinyal internet dalam pengiriman notifikasinya (Aji Pangestu & Yusuf Asyhari, 2024).

Hasil kalibrasi ini memberikan kepastian bahwa sistem pendukung yang dirancang mampu beroperasi secara mandiri dalam membedakan suara alarm dari kebisingan operasional GIS. Keberhasilan penentuan ambang batas ini memperkuat konsep pemantauan real-time yang responsif, di mana data analog dapat dikonversi menjadi tindakan mitigasi yang cepat melalui integrasi Telegram Bot API (Nayoan & Arinal, 2025).

Proses kalibrasi dan penentuan *threshold* pada penelitian ini mengindikasikan bahwa metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental yang diteliti mampu menghasilkan parameter operasional yang andal bagi sistem proteksi. Nilai ambang batas 60 telah divalidasi sebagai titik optimal yang menyeimbangkan antara aspek sensitivitas deteksi dan ketahanan terhadap gangguan *noise*. Temuan ini tidak hanya menyelesaikan permasalahan keterbatasan jangkauan auditif alarm di GIS 150 kV Gunungsari, tetapi juga memberikan model pengembangan sistem pemantauan yang hemat biaya namun memiliki akurasi tinggi.

### Pengujian Integrasi Telegram

Integrasi sistem peringatan dini berbasis auditif ke dalam ekosistem digital melalui platform *Telegram Bot API* merupakan tahap lanjutan dalam mentransformasikan sinyal fisik menjadi informasi yang memiliki nilai guna manajerial bagi personel gardu induk. Pemanfaatan platform pesan instan ini bukan sekadar upaya digitalisasi peringatan, melainkan sebuah strategi untuk mengatasi batasan

spasial antara lokasi instalasi dan personel Juru Gardu Induk (Jargi). Meskipun pada pos keamanan telah tersedia *speaker output* alarm yang terintegrasi dengan sistem SCADA, keterbatasan jangkauan auditif fisik tersebut tetap menjadi tantangan ketika personel keamanan tidak berada di lokasi atau sedang melaksanakan patroli. Melalui pemanfaatan protokol komunikasi nirkabel, hambatan fisik ini berhasil dieliminasi dengan mekanisme notifikasi yang menjangkau petugas Jargi secara global tanpa terikat oleh kehadiran fisik di area Gardu Induk GIS 150kV Gunungsari.

Analisis mendalam terhadap logika pemrograman perangkat menunjukkan bahwa reliabilitas sistem ini bertumpu pada penggunaan pustaka *Preferencesh* yang memungkinkan ESP32 memiliki memori non-volatil guna menyimpan data pengguna secara permanen. Fitur pendaftaran melalui perintah/start secara otomatis memicu fungsi `saveUsers()` yang menyimpan *ID Chat* personel Jargi ke dalam memori internal mikrokontroler, sehingga data tetap terjaga meskipun perangkat mengalami kegagalan daya atau melakukan pemulihan sistem secara mendadak. Karakteristik persistensi data ini merupakan aspek vital yang menjamin bahwa sistem tetap berada dalam kondisi siap operasi tanpa memerlukan konfigurasi ulang manual pasca-gangguan elektrikal. Strategi penyimpanan lokal ini terbukti lebih andal dibandingkan ketergantungan penuh pada basis data berbasis awan yang rentan terhadap latensi jaringan (Zuhair & Singgih Eka Pramudita, 2025).

Efektivitas komunikasi antara perangkat keras dan pengguna tidak hanya bergantung pada kecepatan transmisi, tetapi juga pada kejelasan informasi yang ditampilkan pada antarmuka bot. Gambaran mengenai format notifikasi peringatan dan mekanisme balasan pesan pada Bot Telegram dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar di atas menunjukkan bukti fungsionalitas bot Telegram dalam penelitian ini mengadopsi mekanisme interaksi dua arah yang komprehensif melalui berbagai perintah kontrol seperti `/status`, `/stop`, dan `/howtouse`. Implementasi fungsi `bot.getUpdates` yang berjalan secara kontinu sehingga memungkinkan sistem untuk memproses permintaan status alat secara dinamis, sehingga Jargi dapat melakukan pengecekan integritas sistem setiap saat, terutama pada hari libur. Pola komunikasi seperti ini menciptakan sebuah transparansi operasional, di mana pengguna dapat memvalidasi apakah alat dalam kondisi aktif dan siap mendeteksi

sinyal dari *speaker* SCADA. Hal ini memberikan dimensi baru dalam pengawasan keamanan yang bersifat proaktif, sejalan dengan prinsip efektivitas sistem peringatan dini berbasis pesan singkat yang responsif (Nayoan & Arinal, 2025).



**Gambar 4.** Tampilan Pesan pada Bot Telegram

Mekanisme diseminasi informasi diatur melalui fungsi `broadcastMessage` yang dirancang untuk mengirimkan pesan secara sekuensial kepada seluruh daftar Jargi yang terdaftar pada bot Telegram dengan penundaan sebesar 300 milidetik guna menjaga stabilitas transmisi data. Ketika sensor KY-037 menangkap suara alarm di atas ambang batas 60 dari *speaker* SCADA, sistem secara otomatis memicu variabel `alarmAktif` dan mengirimkan narasi peringatan "ALARM TERDETEKSI! Segera periksa sumber gangguan!!". Analisis terhadap alur kerja ini mengungkapkan adanya redundansi informasi yang sangat baik, di mana setiap personel menerima data yang identik secara simultan. Kecepatan transmisi informasi yang berada di bawah angka 5 detik menunjukkan tingkat efisiensi yang tinggi, serupa dengan performa sistem deteksi anomali pada lingkungan infrastruktur cerdas lainnya (Aji Pangestu & Yusuf Asyhari, 2024).

Interpretasi terhadap hasil pengujian ini menunjukkan bahwa integrasi Telegram telah berhasil menciptakan jembatan komunikasi yang koheren antara perangkat keras sensorik dan sumber daya manusia di luar area kerja. Dalam perspektif teori komunikasi data, penggunaan bot sebagai media transmisi meminimalisir risiko keterlambatan mitigasi yang sering terjadi apabila petugas hanya mengandalkan suara alarm fisik secara lokal.

Keberhasilan pengiriman notifikasi ini menegaskan bahwa sensitivitas sensor yang telah dikalibrasi mampu menangkap *output* auditif dari sistem SCADA dengan presisi tinggi dan meneruskannya ke domain digital. Temuan ini mendukung literatur terdahulu yang menyatakan bahwa efektivitas sistem IoT sangat bergantung pada kemampuan platform komunikasi dalam mengelola distribusi informasi secara stabil (Dewi et al., 2023).

Secara praktis, temuan ini menawarkan implikasi strategis bagi manajemen operasional GIS 150 kV Gunungsari dalam menjamin pengawasan infrastruktur selama 24 jam penuh tanpa bergantung pada kehadiran fisik di pos satpam. Dengan adanya sistem ini, personel Jargi yang sedang berada di luar *shift* atau hari libur tetap memiliki kesadaran situasional terhadap kondisi gardu melalui antarmuka Telegram yang mudah diakses. Mekanisme konfirmasi manual melalui tombol fisik di alat juga memberikan validasi digital yang dikirimkan kembali ke bot, sehingga tercipta akuntabilitas kerja yang lebih tinggi antara petugas di lapangan dan rekan kerja yang sedang tidak bertugas. Integrasi tindakan fisik dan laporan digital ini merupakan bentuk penguatan sistem proteksi yang lebih menyeluruh (Haripuddin et al., 2023).

Data operasional menunjukkan bahwa penempatan alat di dekat *speaker* alarm SCADA memberikan keuntungan berupa rasio sinyal terhadap alarm yang lebih baik, namun tetap menyisakan tantangan terkait stabilitas konektivitas *Wi-Fi*. Ketergantungan pada jaringan internet sebagai media transmisi utama merupakan variabel yang tetap harus dimitigasi melalui penyediaan jalur akses data yang stabil di area pos keamanan. Selain itu, penggunaan ambang batas statis harus dievaluasi secara berkala untuk memastikan sensor tetap mampu membedakan suara alarm SCADA dari kebisingan lingkungan sekitar yang mungkin berubah seiring waktu. Kesenjangan antara deteksi otomatis dan kecepatan respons manusia di luar jam kerja tetap menjadi faktor yang memerlukan protokol tindak lanjut yang jelas.

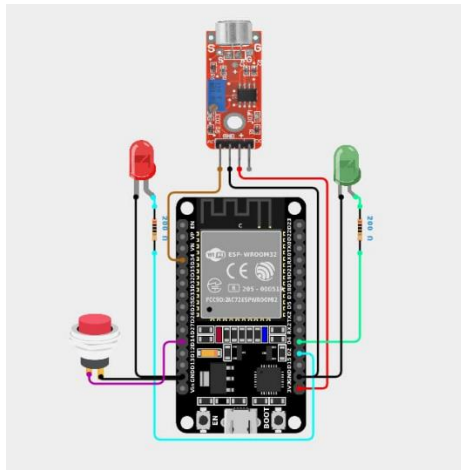
Pengujian integrasi Telegram dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sinergi antara mikrokontroler ESP32 dan platform komunikasi digital mampu menghasilkan sistem pemantauan yang sangat andal dan adaptif. Fitur penyimpanan memori internal melalui *Preferences* dan mekanisme siaran pesan serentak menjadi keunggulan utama yang menjamin informasi gangguan tetap tersampaikan kepada Jargi secara akurat.

### Analisis Respon Sistem

Efektivitas sebuah sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) tidak hanya diukur dari kemampuannya mengumpulkan data, tetapi juga dari sejauh mana sistem tersebut mampu merespon anomali secara presisi dan berkelanjutan. Dalam konteks penelitian ini, respon sistem dievaluasi melalui alur kerja algoritma yang tertanam pada mikrokontroler ESP32, yang dimulai dari inisialisasi perangkat hingga eksekusi perintah pemulihan. Tahap awal yang krusial adalah memastikan konektivitas WiFi dan pemuatan bot Telegram berjalan optimal, mengingat stabilitas jaringan sering kali menjadi kendala utama dalam perangkat berbasis internet. Sebagaimana dikemukakan oleh Aji Pangestu dan rekan peneliti (Aji Pangestu & Yusuf Asyhari, 2024), keterbatasan stabilitas sinyal internet dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman notifikasi, sehingga sinkronisasi antara perangkat keras dan platform pihak ketiga seperti Telegram harus dipastikan sejak fase inisialisasi untuk meminimalkan risiko kegagalan komunikasi.

Proses pemantauan dimulai secara aktif setelah sensor suara KY-037 melakukan pembacaan intensitas bunyi di lingkungan sekitar secara real-time. Berdasarkan diagram alur kerja alat, sistem menerapkan logika ambang batas (*threshold*) sebagai filter utama untuk menentukan apakah suara yang terdeteksi merupakan gangguan atau sekadar kebisingan latar belakang. Penggunaan sensor suara ini sejalan dengan penelitian Hendri et al. (2025) yang memanfaatkan sensor suara untuk klasifikasi aktivitas tertentu, di mana akurasi sistem sangat bergantung pada sensitivitas sensor dalam menangkap sinyal digital (Hendri et al., 2025). Dalam penelitian ini, ketika suara melampaui ambang batas yang ditetapkan, sistem segera berpindah dari fase pemantauan ke fase aksi, yang menandakan bahwa sistem memiliki responsivitas tinggi terhadap stimulus eksternal yang bersifat kritis.

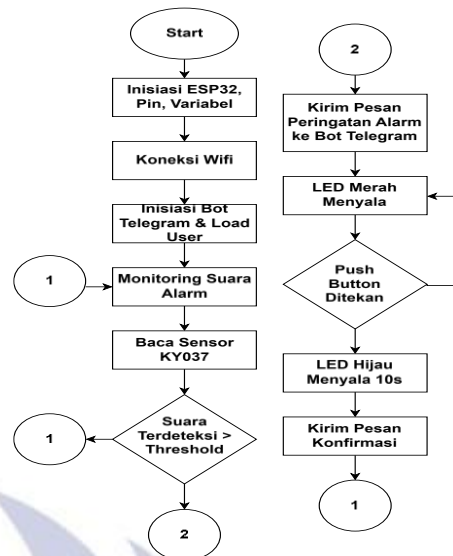
Setelah menetapkan alur logika dan parameter ambang batas, tahap berikutnya adalah merealisasikan konsep tersebut ke dalam bentuk prototipe fisik yang terintegrasi. Guna memberikan visualisasi yang detail mengenai tata letak komponen serta skema pengabelan (*wiring diagram*) yang menghubungkan seluruh modul elektronik, maka rancangan keseluruhan alat disajikan pada Gambar berikut ini :



**Gambar 5.** Rancangan Keseluruhan Alat

Gambar di atas adalah rangkaian skematik yang menunjukkan jalur wiring setiap komponen. Keunggulan arsitektur respon dalam alat ini terletak pada pemisahan logika antara indikator lokal melalui LED merah dan notifikasi jaringan melalui bot Telegram. Dapat dilihat pada Gambar. 7, ketika kondisi alarm terdeteksi, sistem secara simultan menyalakan LED merah sebagai tanda visual di lokasi dan mengirimkan pesan peringatan ke pengguna melalui Telegram. Strategi dual-output ini merupakan solusi preventif terhadap kendala konektivitas yang sering menjadi titik lemah dalam sistem IoT konvensional. Berbeda dengan penelitian Ovid et al. (2025) yang mencatat ketergantungan penuh pada stabilitas internet untuk sistem peringatan dini, rancangan dalam penelitian ini memastikan bahwa meskipun jaringan internet terputus, tanda peringatan visual di lokasi tetap aktif (Ovid & Yandani, 2025). Hal ini memberikan lapisan keamanan tambahan bagi pengguna yang berada di sekitar perangkat untuk segera mengambil tindakan tanpa harus bergantung sepenuhnya pada notifikasi ponsel.

setiap tahapan pengembangan mulai dari perancangan hingga pengujian dapat didokumentasikan secara terukur guna menjamin reliabilitas sistem sebelum diimplementasikan pada skala yang lebih luas. Guna memberikan pemahaman yang mendalam mengenai urutan logika pemrosesan data dan hierarki pengambilan keputusan otomatis pada mikrokontroler, seluruh mekanisme operasional tersebut dipetakan secara terstruktur ke dalam diagram alur (*flowchart*) sebagaimana disajikan pada Gambar berikut ini :



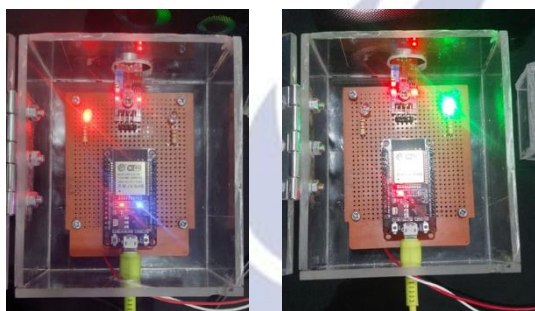
**Gambar 6.** Flowchart Alur Kerja Sistem

Interaksi manusia dengan sistem diperkuat melalui mekanisme reset manual menggunakan *push button* yang berfungsi untuk mengkonfirmasi bahwa kondisi alarm telah diketahui oleh petugas keamanan. Analisis terhadap flowchart pada Gambar 6 menunjukkan bahwa setelah LED merah menyala, sistem akan memasuki fase tunggu hingga *push button* diaktifkan oleh pengguna. Pola ini memberikan kendali penuh kepada subjek untuk melakukan verifikasi langsung terhadap kondisi lingkungan sebelum sistem kembali ke mode pemantauan normal. Mekanisme ini secara teoritis mencegah terjadinya pengiriman pesan berulang atau spam yang dapat mengganggu kenyamanan pengguna. Pendekatan ini menawarkan perspektif berbeda dibandingkan dengan sistem yang menggunakan penundaan waktu otomatis seperti pada penelitian Nayoan dan Arinal (2025) yang menggunakan jeda 10 menit untuk mencegah penumpukan pesan. Dengan menggunakan *push button*, durasi peringatan menjadi lebih fleksibel dan sesuai dengan kebutuhan verifikasi aktual di lapangan (Nayoan & Arinal, 2025).

Setelah pengguna menekan tombol reset, sistem akan memberikan umpan balik berupa aktivasi LED hijau selama 10 detik serta pengiriman pesan konfirmasi kembali ke Telegram. Fase ini menandakan bahwa kondisi telah dinyatakan aman dan sistem siap melakukan siklus pemantauan berikutnya. Respon balik berupa pesan konfirmasi ini sangat penting dalam membangun kepercayaan pengguna terhadap keandalan sistem, karena memberikan kepastian bahwa instruksi reset telah diterima dan diproses dengan benar. Stabilitas operasional seperti ini mencerminkan temuan Zuhair

et al. (2025) yang menekankan bahwa *responsivitas* sistem dalam memperbarui data atau status merupakan indikator utama dari kualitas layanan distribusi informasi berbasis IoT (Zuhair & Singgih Eka Pramudita, 2025). Konsistensi antara perubahan fisik (LED) dan perubahan status digital (Telegram) menunjukkan integrasi yang harmonis antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak.

Keberhasilan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dapat diamati secara langsung melalui perubahan status indikator visual pada modul pusat kontrol. Kondisi fisik alat saat berada dalam fase deteksi bahaya maupun fase pemulihan status aman diperlihatkan melalui dokumentasi hasil pengujian pada Gambar berikut ini :



(a) Kondisi Led merah ketika terdeteksi suara alarm. (b) Kondisi Led hijau setelah *push button* konfirmasi di tekan.

**Gambar 7.** Kondisi Alat saat Beroperasi

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, sistem ini menunjukkan performa yang lebih adaptif dalam menangani skenario pasca-deteksi. Sebagai contoh, penelitian Dewi et al. (2025) menggunakan alarm buzzer yang berbunyi setiap 5 menit secara berkala, meskipun efektif, tetapi tetap memiliki risiko menjadi gangguan jika tidak segera ditangani secara manual (Dewi et al., 2023). Dalam penelitian ini, transisi dari kondisi bahaya (LED merah) ke kondisi normal (LED hijau) yang dimediasi oleh tindakan manusia menciptakan alur kerja yang lebih terukur. Hal ini juga sejalan dengan prinsip *functional suitability* dalam standar ISO 25010 yang diacu oleh Haripuddin et al. (2025), di mana sistem harus mampu menjalankan fungsi yang diinginkan secara tepat sesuai dengan kebutuhan operasional pengguna (Haripuddin et al., 2023). Penggunaan algoritma yang memprioritaskan konfirmasi manual memastikan bahwa setiap anomali mendapatkan perhatian yang memadai.

Temuan ini menunjukkan bahwa desain sistem monitoring suara tidak boleh hanya fokus pada kecepatan deteksi, tetapi juga pada ketahanan

operasional saat terjadi anomali infrastruktur jaringan. Secara teoritis, penelitian ini memberikan pengembangan model “*human-in-the-loop*” dalam sistem keamanan cerdas, di mana teknologi tidak sepenuhnya menggantikan peran manusia tetapi menjadi pendukung keputusan yang andal. Keandalan tampilan data dan indikator visual yang mencapai tingkat kepastian tinggi, sebagaimana juga ditemukan dalam penelitian Suryanto et al. (2025) mengenai pemantauan daya, menjadi pondasi utama bagi adopsi teknologi ini di lingkungan rumah tangga maupun industri (Suryanto & Watmah, 2025). Struktur respon yang berlapis ini secara efektif mengurangi risiko kegagalan sistem total akibat kendala teknis tunggal.

Meskipun ambang batas (*threshold*) sistem telah dikonfigurasi secara optimal pada angka 60, kondisi lingkungan fisik di sekitar pos pengamanan gardu induk memiliki kompleksitas akustik yang tinggi. Suara-suara eksternal berintensitas tinggi seperti sambaran petir saat cuaca ekstrem, klakson kendaraan berat di sekitar area gardu, atau aktivitas mekanis mendadak memiliki potensi untuk memicu false alarm apabila gelombang suara tersebut masuk ke dalam rentang frekuensi yang dibaca oleh sensor. Kendati sistem telah diredam menggunakan logika pembacaan sesaat, mekanisme *threshold* statis ini belum sepenuhnya mampu menyaring pola suara non-alarm secara spesifik. Keterbatasan ini mengonfirmasi bahwa penggunaan sensor suara sederhana di lingkungan luar ruangan memerlukan pengembangan lanjutan, seperti penerapan algoritma filter frekuensi atau *adaptive thresholding* guna meningkatkan selektivitas alat terhadap suara alarm insidental (Aji Pangestu & Yusuf Asyhari, 2024).

Dengan demikian, analisis respon sistem ini menunjukkan bahwa integrasi antara sensor suara, indikator visual lokal, dan notifikasi digital berbasis Telegram telah bekerja sesuai dengan rancangan logika *flowchart* yang ditetapkan. Pemisahan jalur peringatan terbukti menjadi Pilar strategis bagi penguatan keandalan dalam mengatasi ketergantungan pada koneksi internet, sementara mekanisme reset manual memberikan efisiensi dalam pengelolaan alur informasi.

## PENUTUP

### Simpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem peringatan dini berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor suara KY-037 yang terintegrasi dengan Telegram Bot API untuk

mengawasi infrastruktur GIS 150 kV Gunungsari. Temuan utama menunjukkan bahwa penetapan ambang batas (*threshold*) pada nilai 60 merupakan parameter paling andal untuk membedakan sinyal alarm dari kebisingan latar belakang, dengan kecepatan transmisi notifikasi mencapai di bawah 5 detik. Keunggulan sistem ini terletak pada arsitektur respon berlapis yang memisahkan indikator visual lokal melalui LED merah dan notifikasi digital melalui Telegram, sehingga tetap memberikan tanda bahaya di lokasi meskipun terjadi kendala konektivitas internet.

### Saran

Meskipun kinerjanya stabil, terdapat keterbatasan pada ketergantungan jaringan internet dan energi tunggal, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan modul redundansi jaringan dan sumber daya mandiri guna mengantisipasi pemadaman total. Selain itu, studi lanjutan mengenai posisi peletakan alat (*mounting position*) sangat diperlukan untuk mengoptimalkan akurasi deteksi di lingkungan yang lebih kompleks demi menjaga keandalan sistem transmisi tenaga listrik secara berkelanjutan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aji Pangestu, G., & Yusuf Asyhari, M. (2024). Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Notifikasi Bot Telegram untuk Pendeteksian Gerak. *Journal of Smart System (JSS)*, 4(1).
- Aritonang, Y. S., Siagian, P., & Aryza, S. (2024). Inovasi dan Tantangan dalam Pengembangan Sistem Transmisi Tenaga Listrik Berbasis Teknologi Tinggi Ultra High Voltage untuk Meningkatkan Keandalan dan Efisiensi Energi. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3s1.5220>
- Dewi, S. A., Kristyawan, Y., & Kacung, S. (2023). Sistem Notifikasi pada Kompor Gas Menggunakan Aplikasi Telegram Berbasis Mikrokotroller. *Informatics, Electrical and Electronics Engineering (Infotron)*, 3(2), 49–55. <https://doi.org/10.33474/infotron.v3i2.20790>
- Haripuddin, H., Suhardi Rahman, E., Massikki, M., & Iswal Burhan, M. (2023). Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Telegram Messenger. *Jurnal Media Elektrik*, 20(2), 8–13. <https://doi.org/10.59562/metrik.v20i2.5489>
- Hendri, Muchtar, M., & Sarimuddin. (2025). Pemanfaatan Arduino dan Sensor KY-038 untuk Membedakan Suara Mesin Chainsaw dan Mesin Lain di Area Pembalakan Liar. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6797>
- Imammah, S., & Marzuki, M. I. (2023). Implementasi Strategi Pemeliharaan Preventif untuk Mengoptimalkan Kinerja Disconnecting Switch Line dan Lightning Arrester pada Gardu Induk 150kV. *JSI: Jurnal Sistem Informasi (E-Journal)*, 15(1), 3060–3079. <https://doi.org/10.18495/jsi.v15i1.108>
- Khaeri, S., Gilang Pratama, B., & Handayani, T. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis IoT untuk Pemantauan dan Analisis Konsumsi Daya. *JMTE Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*, 6(2). <https://journal.itny.ac.id/>
- Lasera, A. B., & Wahyudi, I. H. (2020). Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik Berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 5(2), 112–120. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i2.34261>
- Nayoan, V. E. P., & Arinal, V. (2025). Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan Kandang Ayam Berbasis IoT dengan Notifikasi Telegram Otomatis. *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(3), 1980–1987. <https://doi.org/10.63447/jimik.v6i3.1627>
- Ovid, A., & Yandani, E. (2025). Prototype Sistem Pemantauan Tinggi Muka Air Berbasis Esp32 Untuk Sistem Pringatan Dini Banjir Melalui Telegram. *JEKIN (Jurnal Teknik Informatika)*, 5(3). <https://doi.org/10.58794/jekin.v5i3.1634>
- Putra, D. R. R. P., & Joko, J. (2024). Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 13(3), 248–255. <https://doi.org/10.26740/jte.v13n3.p248-255>
- Simanungkalit, J. T., & Rambe, B. M. (2025). Penerapan IoT dalam Pendeteksi Gas (CO) dan Kebakaran dengan Notifikasi Aplikasi Telegram. *Jurnal Minfo Polgan*, 14(1), 691–701. <https://doi.org/10.33395/jmp.v14i1.14843>
- Suryanto, & Watmah, S. (2025). Pemantauan Catu Daya untuk Proteksi Listrik Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IOT). *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, 6(2), 94–99. <https://doi.org/10.31294/imtechno.v6i2.9518>

- Widyastuti, W., & Hidayat, F. N. (2024). Perancangan Alat Ukur Koefisien Serap Bunyi dalam Skala Laboratorium dengan Menggunakan Tabung Impedansi dan Sensor Suara. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(3), 168. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i3.91492>
- Zuhair, A., & Singgih Eka Pramudita. (2025). Prototipe Alat Monitoring Tegangan dan Arus pada Gardu Induk Distribusi Secara Real Time Berbasis IoT. *Jurnal Qua Teknika*, 15(02), 125–129. <https://doi.org/10.35457/quateknika.v15i02.5166>

