



# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL OTOMATIS EMERGENCY DIESEL GENERATOR (EDG) BLACK START

Aswan<sup>1</sup>, M Sainal Abidin<sup>2</sup>, Julianti Habibuddin<sup>3</sup>, Asyraful Insan Asry<sup>4</sup>, Muhammad Fadli Azis<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Politeknik ATI Makassar

<sup>1</sup>22osp632@atim.ac.id, <sup>2</sup>22osp648@atim.ac.id, <sup>3</sup>juliantihabibuddin@atim.ac.id, <sup>4</sup>asyraful@atim.ac.id, <sup>5</sup>fadli@atim.ac.id,

## ABSTRAK

Keandalan sistem tenaga listrik saat terjadi pemadaman total sangat bergantung pada ketersediaan Emergency Diesel Generator (EDG) sebagai unit black start. Namun, sistem konvensional sering menghadapi masalah ketika EDG menyala secara tidak tepat akibat padam sebagian maupun gangguan sesaat. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol otomatis EDG dengan metode deteksi ganda tegangan rendah pada dua bus menggunakan logika AND yang dilengkapi on-delay timer tiga detik. Penelitian dilakukan secara eksperimental melalui pembuatan panel kontrol berbasis 24 Vdc yang terintegrasi dengan relay under-voltage, timer, selektor otomatis dan manual, serta indikator keselamatan, kemudian diuji dalam sepuluh kondisi berbeda pada Bus A dan Bus B. Hasil pengujian menunjukkan bahwa EDG tidak menyala pada kondisi normal maupun padam sebagian, sedangkan timer efektif mencegah false start akibat penurunan tegangan sesaat. EDG hanya menyala otomatis saat kedua bus padam dengan tegangan keluaran seimbang sebesar 406 V, 406 V, dan 407 V pada tiga fasa. Sistem yang diusulkan terbukti meningkatkan keandalan operasi black start dan berpotensi diterapkan secara praktis untuk memperkuat pasokan daya darurat pada pembangkit listrik.

**Kata kunci:** black start, emergency diesel generator, logika AND, relay under-voltage, sistem kontrol

## 1. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber energi listrik yang andal sangat penting bagi operasi pembangkit dan seluruh peralatan pendukungnya. Apabila terjadi pemadaman total (blackout), seluruh unit pembangkit maupun peralatan bantu akan berhenti beroperasi sehingga diperlukan sumber awal (black start) untuk memulihkan sistem [1], [2]. Emergency Diesel Generator (EDG) banyak digunakan sebagai sumber awal karena dapat menghasilkan tegangan secara mandiri, cepat, dan stabil, sehingga mampu menyuplai beban prioritas yang diperlukan dalam proses penyalan kembali turbin [3].

Permasalahan yang sering dihadapi pada sistem black start konvensional adalah masih adanya ketergantungan pada operator atau penggunaan logika sederhana yang hanya memantau satu bus. Kondisi tersebut dapat menyebabkan mesin diesel menyala meskipun hanya salah satu bus yang padam, atau menyala akibat gangguan tegangan sesaat yang sebenarnya tidak memerlukan penyalan EDG. Hal ini berpotensi mengurangi keandalan sistem dan menimbulkan risiko pada peralatan [4]. Standar internasional seperti IEC [5] dan IEEE [6] menekankan pentingnya sistem proteksi yang presisi dalam mendeteksi kondisi tegangan abnormal untuk memastikan operasi yang aman dan andal.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji pengembangan sistem proteksi maupun operasi EDG dalam berbagai konteks. Arsyad dkk. [1] merancang sistem relay over/under-voltage berbasis mikrokontroler untuk mendeteksi kondisi tegangan tidak normal pada saluran distribusi. Purba dkk. [2] melakukan simulasi sistem backup otomatis EDG saat kondisi blackout di PLTGU Tanjung Uncang. Hassan dkk. [3] menganalisis sistem kerja black start pada generator emergency di PLTGU Sewatama dengan kapasitas 1.008 kW. Pada konteks maritim, Abiyyu dkk. [4] meneliti kegagalan sistem start-stop EDG di kapal AHTS, mengidentifikasi bahwa masalah operasional sering terjadi pada sistem konvensional, sementara Utomo dkk. [7] menganalisis peran emergency generator saat kondisi blackout pada kapal MV. Kelud. Di sisi lain, Sibuea dkk. [8] memodelkan



sistem automatic battery charging pada EDG di PLTU Sebalang untuk meningkatkan keandalan sumber daya cadangan. Sugara & Suriana [9] merancang alat otomatisasi sistem control shutdown diesel pada PLTG Pesanggaran Bali, menunjukkan tren pengembangan otomasi pada pembangkit diesel di Indonesia. Penelitian Yolnasdi dkk. [10] juga menunjukkan pentingnya analisa stabilitas sistem kelistrikan dalam konteks operasi pembangkit skala besar, khususnya dengan beroperasinya PLTGU Riau 275 MW menggunakan simulasi Digsilent, yang menekankan integrasi sistem proteksi dalam rejim operasi pembangkit modern.

Penelitian-penelitian tersebut memberikan kontribusi pada aspek proteksi, simulasi, studi kasus, implementasi, dan analisa stabilitas EDG, namun sebagian besar masih berfokus pada simulasi, studi kasus spesifik, atau aspek tertentu saja. Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang secara komprehensif membahas implementasi deteksi ganda lintas-bus dengan logika AND untuk mencegah penyalan yang tidak diperlukan akibat padam parsial atau gangguan sesaat, serta mengintegrasikannya ke dalam panel kontrol yang user-friendly dengan mode operasi manual yang aman.

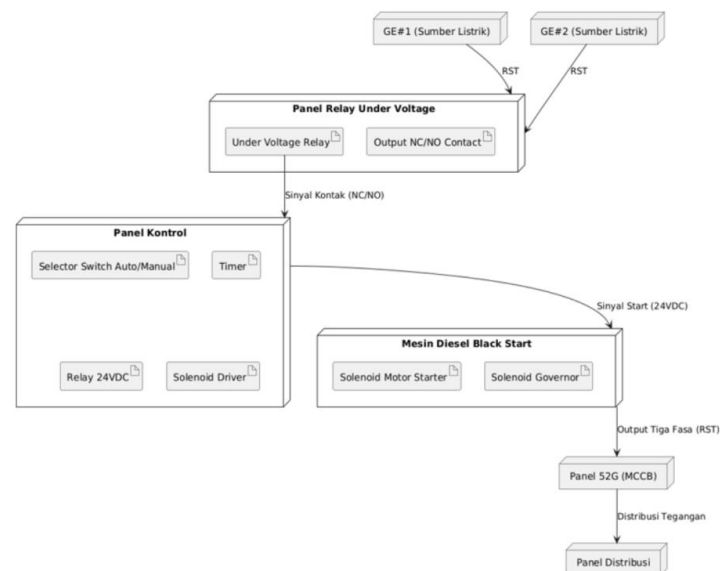
Penelitian ini merancang sistem kontrol otomatis EDG yang mampu mendeteksi kondisi padam total dengan lebih akurat dan tepat waktu. Dua buah under-voltage relay dipasang pada dua bus utama independen (Bus A dan Bus B). Keduanya dihubungkan dengan logika AND, sehingga mesin diesel hanya akan menyala apabila kedua bus benar-benar padam secara bersamaan. Selain itu, digunakan timer dengan penundaan waktu sekitar tiga detik untuk memastikan bahwa perintah penyalan tidak dipicu oleh gangguan sesaat atau sag tegangan yang masih dalam toleransi. Rancangan ini diintegrasikan ke panel kontrol 24 Vdc yang dilengkapi mode Auto/Manual, indikator status, dan tombol darurat sehingga lebih aman, handal, dan mudah dioperasikan oleh teknisi lapangan.

Tujuan penelitian adalah menghasilkan sistem kontrol EDG yang dapat bekerja otomatis pada kondisi padam total, sekaligus mencegah penyalan ketika hanya satu bus yang padam atau saat terjadi gangguan singkat pada tegangan. Melalui pengujian eksperimental di lapangan, rancangan ini diharapkan dapat mempercepat proses pemulihan sistem tenaga, meningkatkan keandalan operasi black start, meminimalkan false start, dan menjadi acuan dalam pengembangan sistem kontrol black start pada pembangkit serupa di industri ketenagalistrikan nasional.

## 2. METODE PENELITIAN

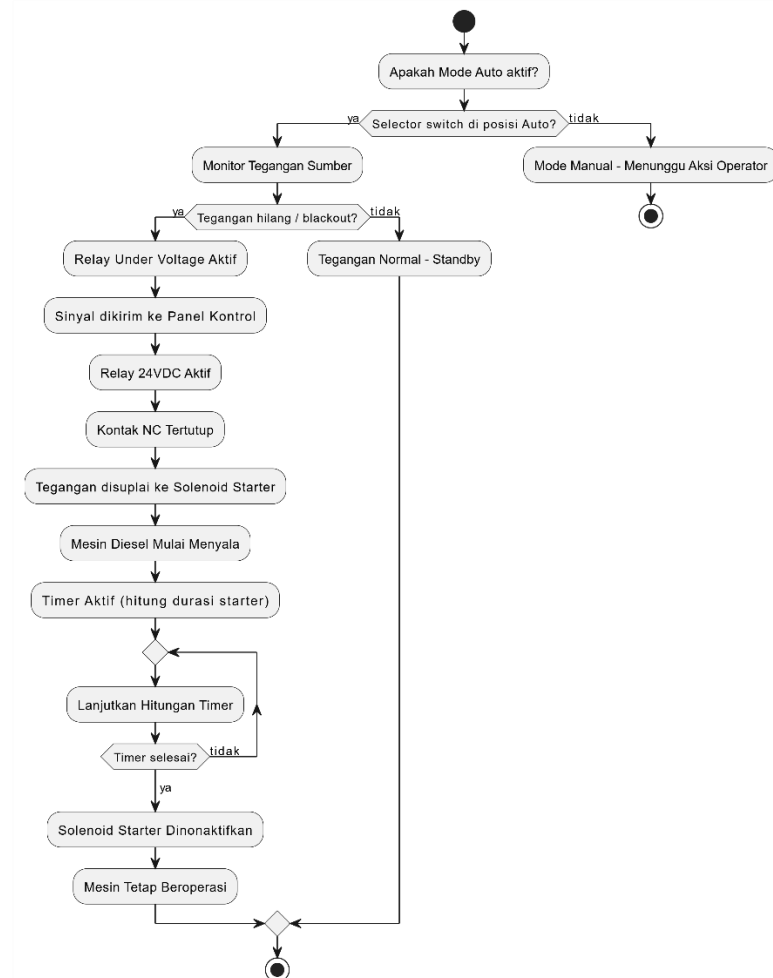
Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental melalui perancangan dan implementasi sistem kontrol otomatis Emergency Diesel Generator (EDG) untuk kebutuhan black start. Pengujian dilakukan di fasilitas PLTG Tallo, PT PLN (Persero) sebagai lokasi penelitian, dengan tujuan menguji kinerja logika kendali berbasis deteksi tegangan ganda pada dua bus utama yang dihubungkan melalui relai under-voltage dan dikendalikan dengan logika AND.

Rancangan penelitian dimulai dengan penyusunan diagram blok sistem kontrol (Gambar 2.1) yang menggambarkan aliran sinyal dari input hingga output. Dua bus utama (Bus A dan Bus B) dipantau oleh dua buah relai under-voltage. Kedua sinyal ini masuk ke logika AND, sehingga hanya ketika keduanya mendeteksi kehilangan tegangan, sinyal diteruskan ke relai kontrol 24 Vdc. Sinyal tersebut kemudian melewati on-delay timer untuk memberi penundaan sekitar tiga detik, sehingga gangguan sesaat tidak langsung memicu start. Setelah itu, keluaran timer mengaktifkan solenoid starter pada mesin diesel, dan ketika mesin berhasil menyala, tegangan 3-fasa EDG disalurkan melalui pemutus tenaga (MCCB) menuju panel distribusi untuk menyuplai beban prioritas.



Gambar 2.1 Diagram Blok

Untuk memperjelas urutan proses kerja, flowchart operasi sistem kontrol ditunjukkan pada Gambar 2.2. Flowchart ini menjelaskan alur dimulai dari pemilihan mode operasi (Auto atau Manual). Dalam mode Auto, sistem secara kontinu memantau tegangan pada Bus A dan Bus B. Jika salah satu bus masih bertegangan, sistem tidak memberikan perintah start. Apabila kedua bus terdeteksi padam, sinyal akan diteruskan ke timer. Setelah penundaan tiga detik terpenuhi, perintah start dikirim ke EDG. Apabila mesin berhasil menyala, starter otomatis terputus dan mesin beroperasi secara mandiri. Alur ini memastikan bahwa EDG hanya aktif ketika benar-benar dibutuhkan.



Gambar 2.2 Flowchart

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian meliputi satu unit EDG tiga fasa dengan spesifikasi 380 V, 50 Hz, dan 1500 rpm, dua buah relai under-voltage, sebuah relai kontrol 24 Vdc, satu unit on-delay timer 24 Vdc dengan pengaturan penundaan tiga detik, selector switch Auto/Manual, indikator lampu LED, tombol darurat, serta panel distribusi yang dilengkapi MCCB. Instrumen pengukuran berupa multimeter digital digunakan untuk mencatat nilai tegangan keluaran EDG setelah start, sedangkan status operasi relai dan indikator panel dicatat secara observasi langsung.

Prosedur pengujian dilakukan dengan mengatur kondisi tegangan pada Bus A dan Bus B dalam sepuluh skenario berbeda, meliputi kondisi normal (dua bus bertegangan), padam sebagian (satu bus padam), padam total (dua bus padam), dan gangguan sesaat (tegangan turun singkat). Pada setiap skenario dicatat kondisi output berupa status EDG (menyala atau tidak), waktu respon, serta nilai tegangan keluaran generator. Dengan pendekatan ini, data kuantitatif berupa nilai tegangan keluaran dan data kualitatif berupa respon sistem diperoleh untuk kemudian dianalisis.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian terhadap logika rancangan. Kinerja sistem dinilai berhasil apabila EDG tidak menyala pada kondisi padam sebagian atau gangguan singkat, serta menyala secara otomatis dengan tegangan keluaran stabil ketika kedua bus padam. Analisis ini juga mempertimbangkan

kestabilan tegangan keluaran, kesesuaian waktu tunda dengan setelan timer, dan konsistensi fungsi logika AND dalam mencegah penyalan yang tidak diperlukan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem kontrol otomatis Emergency Diesel Generator (EDG) dilakukan dalam sepuluh skenario untuk memastikan kesesuaian kinerja dengan rancangan. Fokus utama adalah membuktikan bahwa EDG hanya menyala ketika kedua bus utama padam, serta tidak terpicu oleh padam sebagian maupun gangguan sesaat.

Tabel 3.1 Hasil pengujian sistem kontrol otomatis EDG

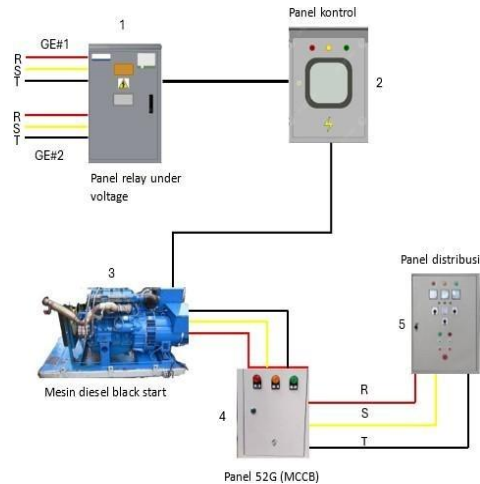
No	Kondisi Bus A	Kondisi Bus B	Respon EDG	Tegangan keluaran (V, L-L)
1	Normal	Normal	Tidak menyala	–
2	Padam	Normal	Tidak menyala	–
3	Normal	Padam	Tidak menyala	–
4	Padam	Padam	Menyala otomatis	406 / 406 / 407
5	Normal	Normal	Tidak menyala	–
6	Normal	Padam	Tidak menyala	–
7	Padam	Normal	Tidak menyala	–
8	Padam	Padam	Menyala otomatis	406 / 406 / 407
9	Normal	Normal	Tidak menyala	–
10	Padam	Padam	Menyala otomatis	406 / 406 / 407

#### 3.1 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pada Table 3.1 menunjukkan pola respon yang konsisten. Pada kondisi normal (skenario 1, 5, dan 9), kedua bus masih bertegangan sehingga EDG tidak menyala. Hal ini menunjukkan bahwa relai under-voltage bekerja dengan baik dan logika AND mampu mencegah keluarnya sinyal start ketika tidak ada gangguan. Pada kondisi padam sebagian (skenario 2, 3, 6, dan 7), salah satu bus padam namun EDG tetap tidak menyala. Hasil ini menegaskan bahwa sistem mampu membedakan padam sebagian dari padam total, sehingga terhindar dari false start yang sering terjadi pada sistem konvensional dengan deteksi tunggal. Adapun pada kondisi padam total (skenario 4, 8, dan 10), kedua bus padam dan EDG menyala otomatis. Tegangan keluaran sebesar 406 V, 406 V, dan 407 V pada tiga fasa, dengan deviasi sekitar +6–7% dari nominal 380 V. Deviasi ini masih dapat diterima untuk kondisi tanpa beban (no-load). Keseimbangan antar fasa relatif baik, menandakan bahwa kualitas suplai layak digunakan sebagai sumber awal dalam proses black start. Walaupun skenario gangguan sesaat tidak dimasukkan dalam tabel, peran on-delay timer tiga detik terbukti krusial. Timer ini mencegah sistem bereaksi pada penurunan tegangan singkat (voltage dip/sag), sehingga start hanya terjadi ketika kondisi padam benar-benar terkonfirmasi. Prinsip ini sesuai dengan rekomendasi standar IEC

#### 3.2 Analisis Implementasi Teknis

Implementasi sistem ditunjukkan melalui dua wiring diagram utama. Gambar 3.1 memperlihatkan wiring diagram umum sistem EDG black start. Konfigurasi ini menunjukkan hubungan sistematis antara proteksi, kontrol, sumber daya, dan distribusi sehingga EDG dapat menyala otomatis ketika kedua bus padam.

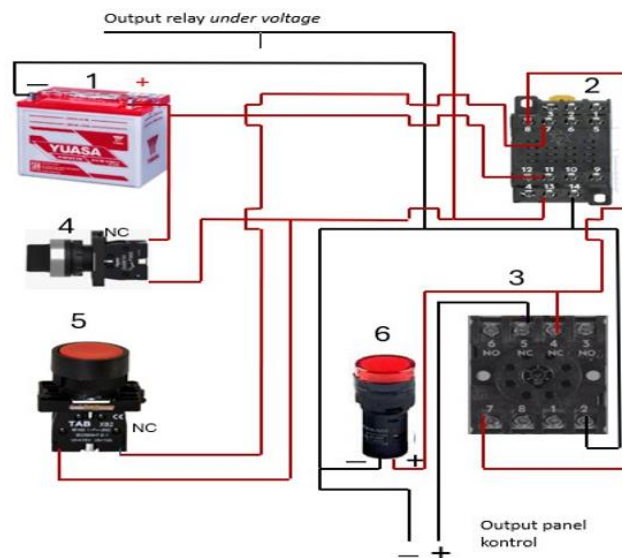


Gambar 3.1 Wiring diagram sistem

Keterangan gambar:

1. Panel relay under-voltage yang mendeteksi kondisi padam,
2. Panel kontrol sebagai pusat logika,
3. Mesin diesel black start,
4. Panel 52G (*MCCB*) sebagai pemutus tenaga, dan
5. Panel distribusi yang menerima suplai dari EDG.

Adapun Gambar 3.2 menampilkan wiring diagram detail panel kontrol mesin diesel black start. Rangkaian panel kontrol ini merealisasikan logika AND secara fisik, dengan integrasi relay dan timer yang memastikan EDG hanya menyala ketika kedua bus padam dan setelah penundaan waktu tertentu.



Gambar 3.2 Wiring diagram kontrol panel

Keterangan gambar:

1. Sumber tegangan baterai (24 Vdc) sebagai suplai utama,
2. Relay 24 Vdc sebagai penghubung sinyal dari panel relay under-voltage,
3. Timer 24 Vdc sebagai penunda start selama tiga detik,
4. Selector switch Auto/Manual untuk mode operasi,
5. Push button untuk operasi manual atau pengujian,
6. Lampu indikator yang menampilkan status operasi sistem.

### 3.3 Dokumentasi Lapangan

Selain wiring diagram, dokumentasi lapangan memperkuat hasil implementasi. Gambar 3.3 memperlihatkan panel kontrol mesin diesel black start yang telah dipasang, lengkap dengan selector otomatis dan manual, indikator, dan tombol darurat. Gambar 3.4 menunjukkan mesin diesel black start yang menjadi objek penelitian. Dokumentasi ini menegaskan bahwa penelitian tidak hanya berbasis simulasi, tetapi telah diuji langsung pada instalasi lapangan melalui kerja sama dengan PLN, sehingga memiliki nilai aplikatif.



Gambar 3.3 Panel kontrol mesin diesel black start



Gambar 3.4 Mesin diesel black start

### 3.4 Diskusi

Hasil penelitian ini menjawab rumusan masalah yang diajukan. Pertama, sistem terbukti mencegah penyalan EDG pada kondisi padam sebagian, sehingga mengatasi kelemahan sistem konvensional. Kedua, keberadaan on-delay timer efektif mencegah respon terhadap gangguan sesaat, mengurangi risiko false start dan memperpanjang umur peralatan. Ketiga, pada kondisi padam total, EDG berhasil menyala otomatis dengan tegangan keluaran yang stabil dan seimbang antar fasa.

Dari sisi praktis, rancangan berbasis panel kontrol 24 Vdc ini sederhana, ekonomis, dan mudah direplikasi. Implementasi ini memberikan manfaat nyata bagi PLN karena meningkatkan keandalan suplai darurat pada saat padam total, sekaligus mempercepat proses pemulihan sistem tenaga. Dengan bukti implementasi di lapangan, penelitian ini memiliki relevansi tinggi tidak hanya secara akademis tetapi juga aplikatif.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol otomatis Emergency Diesel Generator (EDG) berbasis logika AND dengan integrasi on-delay timer tiga detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa EDG hanya menyala ketika kedua bus utama padam, tidak merespons pada kondisi padam sebagian, serta terlindung dari gangguan sesaat. Tegangan keluaran yang dihasilkan relatif stabil dan seimbang antar fasa, yaitu 406 V, 406 V, dan 407 V, yang masih dalam batas toleransi untuk kondisi tanpa beban. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk meningkatkan keandalan proses black start melalui deteksi ganda lintas-bus telah tercapai.





#### 4.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan agar sistem kontrol EDG dengan logika AND dan time delay diimplementasikan lebih luas pada pembangkit yang menggunakan generator darurat, karena terbukti sederhana namun efektif. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian dapat difokuskan pada uji beban bertahap, analisis frekuensi keluaran, serta integrasi dengan sistem kontrol berbasis digital (PLC atau SCADA) untuk meningkatkan fleksibilitas dan monitoring jarak jauh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Arsyad, A. Sofwan, and A. Nugroho, "Perancangan sistem kontrol over/under voltage relay berbasis mikrokontroler pada saluran tegangan 220 VAC," *Jurnal Transient*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2023.
- [2] J. H. Purba, I. Z. Putra, and L. Al Hakim, "Simulasi sistem backup otomatis kerja Emergency Diesel Generator (EDG) saat kondisi blackout pada PLTGU Tanjung Uncang 120 MW," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 17, no. 2, pp. 98–115, 2023.
- [3] M. Hassan, N. Safitri, and others, "Analisa sistem kerja black start pada generator emergency 1.008 kW di PT Sewatama Sumbagut 2 Peaker Powerplant 250 MW," *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, vol. 7, no. 1, pp. 45–62, 2023.
- [4] M. F. A. Abiyyu, D. Kurniawan, E. Nurmala, and I. Muda, "Kegagalan sistem kerja start-stop emergency generator di kapal AHTS Logindo Sturdy," *Jurnal Multidisiplin Riset Ilmiah*, vol. 1, no. 2, pp. 120–135, 2024.
- [5] International Electrotechnical Commission, *IEC 60255-127: Measuring Relays and Protection Equipment – Part 127: Functional Requirements for Over/Under Voltage Protection*. Geneva, Switzerland: IEC, 2010.
- [6] IEEE Standards Association, *IEEE Std 446-1995: IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications (Orange Book)*. New York, NY, USA: IEEE, 1995.
- [7] M. N. S. Utomo, A. Wiweko, M. S. Siregar, M. David, and E. Nurmala, "The role of emergency generator during black-out on the MV. Kelud," *Jurnal Transportasi dan Bahari*, vol. 1, no. 1, pp. 56–71, 2024.
- [8] L. Sibuea, D. Despa, and R. Widyawati, "Pemodelan dan simulasi sistem automatic battery charging pada Emergency Diesel Generator PLTU Sebalang," *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, vol. 5, no. 2, pp. 1–12, 2024, doi: 10.23960/jpi.v5n2.133.
- [9] W. Sugara and W. Suriana, "Rancang bangun alat otomatisasi sistem control shutdown diesel start PLTG Pesanggaran Bali," *Jurnal Sistem Ketenagalistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 78–92, 2025.
- [10] Yolnasdi, L. A. Waskito, D. Setiawan, and others, "Analisa stabilitas sistem kelistrikan Sumatera dengan beroperasinya PLTGU Riau 275 MW menggunakan simulasi Digsilent," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri (SAINETIN)*, vol. 6, no. 1, pp. 39–45, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.8871.

