

Analisis Emergency Backup System Saat Blackout Di PLTU Batang

Dicky Oscar Novrian¹, Dina Mariani^{2*}, Achmad Solichan³

¹²Program Studi Rekayasa Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang

Article Info

Article history:

Received Agustus 10, 2026

Revised Agustus 18, 2026

Accepted Agustus 19, 2026

Keywords:

Emergency Backup System
Plant Blackout
Emergency Diesel Generator
Baterai/UPS

ABSTRACT

PLTU Batang yang berkapasitas 2x1000 MW dan mensupply interkoneksi Jawa-Bali, mengingat kapasitasnya yang besar dan juga kebutuhan daya yang dihasilkan membutuhkan Emergency Backup System yang andal untuk mengamankan peralatan kritis saat terjadi Unit Blackout maupun Plant Blackout. Penelitian ini bertujuan menganalisis sekuensial kerja, waktu respon, mitigasi ketika kegagalan terjadi serta strategi pemeliharaan pada Emergency Backup System yang meliputi Emergency Diesel Generator (EDG), dan sistem Baterai Uninterruptible Power Supply (UPS). Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan pendekatan Miles dan Huberman melalui studi literatur, observasi, diskusi, serta analisis data rekaman Sequence of Event Recorder (SER) aktual, simulator, dan manual book. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sekuensial kerja otomatis berlangsung melalui empat fase utama: deteksi gangguan oleh relai proteksi, pelepasan beban (load trip), peralihan daya oleh Baterai/UPS, EDG maupun Unit operasi normal, dan pemulihan beban. Untuk waktu respon sistem pada Baterai/UPS sebesar 0 milidetik (tanpa jeda) dan mampu mem-backup beban kritis dan komputer kontrol DCS selama 90 menit. Sementara itu, EDG berhasil auto-start hingga penutupan circuit breaker (CB) dalam waktu 11 detik untuk memulihkan tegangan Busbar Esensial 400V, lebih cepat dari batas standar manual book yaitu 15 detik. Kegagalan pada emergency backup berpotensi memicu Total Station Blackout yang menyebabkan pembengkakan poros turbin, kebocoran dan ledakan hidrogen generator, serta hilangnya visibilitas sistem kontrol DCS (black station). Dengan penerapan strategi pemeliharaan secara berkala terbukti efektif menjaga kesiapan.

Copyright © 2026 Akiratech
Journal
All rights reserved

DOI: <https://doi.org/10.63935/akiratech.v3i3.361>

Corresponding Author:

Dicky Oscar Novrian
Program Studi Rekayasa Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Muhammadiyah Semarang
Email: dickynoscar567@gmail.com

1. PENDAHULUAN

PLTU Batang dengan kapasitas 2x1000 MW, merupakan komponen dari salah satu sistem tenaga listrik yaitu pusat pembangkit listrik yang merupakan tempat energi listrik pertama kali di bangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik[1] dan juga salah satu objek vital nasional yang mensupply sistem interkoneksi Jawa-Bali[2]. kegagalan mendadak pada unit maupun *plant* yang sedang beroperasi normal dapat menimbulkan penurunan cadangan daya regional dan juga kerusakan internal pada peralatan pembangkit itu sendiri jika sistem proteksi dan *Emergency Backup System* gagal berfungsi. salah satu kondisi darurat paling kritis dalam operasional pembangkit listrik adalah *Plant Blackout*, merupakan keadaan dimana pembangkit listrik mengalami gangguan total dan kehilangan seluruh pasokan daya listrik maupun tidak memasok daya listrik sehingga seluruh beban konsumen tidak dapat terpenuhi[3]. Dengan kehilangannya pasokan daya listrik, membuat peralatan-peralatan vital pada pembangkit listrik sendiri menjadi sangat berbahaya. sebagai contoh turbin uap dan generator yang berputar dengan kecepatan tinggi (3000 rpm) memerlukan pelumasan secara terus menerus dari *Main Lube Oil Pump*. Jika daya hilang dan pompa pelumas berhenti, akan terjadi gesekan kering antar-logam pada *bearing* yang berpotensi membengkokkan poros turbin (*turbine shaft*) akibat panas

Journal homepage: <https://journal.ajbnews.com/index.php/akiratech>

berlebih. Selain itu, ketiadaan pasokan listrik pada sistem kontrol ketika Baterai tidak mampu membackup seperti pada *Distributed Control System* (DCS) akan membuat operator kehilangan visibilitas dan kendali penuh atas kondisi darurat pembangkit, yang dapat mengancam keselamatan seluruh area *Plant* [3],[4],[6]. untuk meminimalisir risiko tersebut, PLTU Batang dilengkapi *Emergency Backup System* yang berlapis, terdiri dari Baterai UPS, Sumber listrik 400V Essensial dari Unit beroperasi normal dan *Emergency Diesel Generator* (EDG) pada masing-masing unit. Baterai UPS, Baterai merupakan media penyimpanan energi yang bekerja melalui proses elektrokimia reversibel, sehingga dapat diisi ulang dan digunakan berulang kali sebagai sumber daya cadangan ketika terjadi gangguan. sedangkan untuk UPS merupakan perangkat yang secara otomatis mensupply daya dari baterai saat sumber utama terputus[7][8]. dan Emergency Diesel Generator (EDG) itu merupakan perangkat utama yang mampu menghasilkan daya listrik dan berfungsi sebagai sistem backup saat terjadi adanya gangguan kelistrikan (Blackout), saat terjadi blackout EDG harus segera difungsikan untuk mem-backup sistem kelistrikan pada beban pemakaian sendiri. dengan tujuan untuk Kembali mensupply sistem kelistrikan agar terhindar dari kerusakan hingga kerugian pada peralatan [9]. Meskipun *Emergency Backup System* telah dirancang secara otomatis, namun kenyataan di lapangan pada saat masa transisi dari kondisi operasi normal ke kondisi *Blackout* memunculkan berbagai tantangan teknis. Kegagalan koordinasi relay proteksi atau keterlambatan respons EDG dan Baterai UPS dapat mengakibatkan kegagalan total proses pengamanan unit maupun *Plant* (*safe shutdown*).

Pada penelitian sebelumnya, ketika terjadi pemadaman ataupun gangguan listrik yang menyebabkan blackout pada pembangkit listrik, generator backup mampu mensupply beberapa peralatan yang bersifat urgent dan memerlukan supply listrik terus-menerus[3]. dan ada penelitian sebelumnya juga dalam pengoperasian Emergency Diesel Generator (EDG) dalam membackup sistem kelistrikan internal masih dalam kondisi aman pada rentang waktu antara 10-20 detik hingga CB EDG pada posisi close [9]. namun dari kedua penelitian sebelumnya sudah membahas kemampuan EDG menyediakan daya emergency tetapi belum secara komprehensif mengevaluasi urutan/sekuensial transisi sumber daya selama blackout serta waktu respons setiap tahapan sistem emergency backup pada konfigurasi PLTU tertentu.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sekuensial dan waktu respon pada emergency backup system. ketika terjadinya kegagalan dalam membackup juga dapat mengetahui mitigasi apa saja yang harus dilakukan dan pemeliharaan apa saja yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan tersebut. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan emergency backup system di PLTU batang sudah memenuhi standar operasionalnya dalam urutan kronologis sekuensial kerja sistemnya maupun waktu responnya. dan juga mitigasi apa saja yang harus dilakukan dan pemeliharaan yang dilakukan sehingga dapat menjaga kesiapan emergency backup system.

2. METODE PENELITIAN

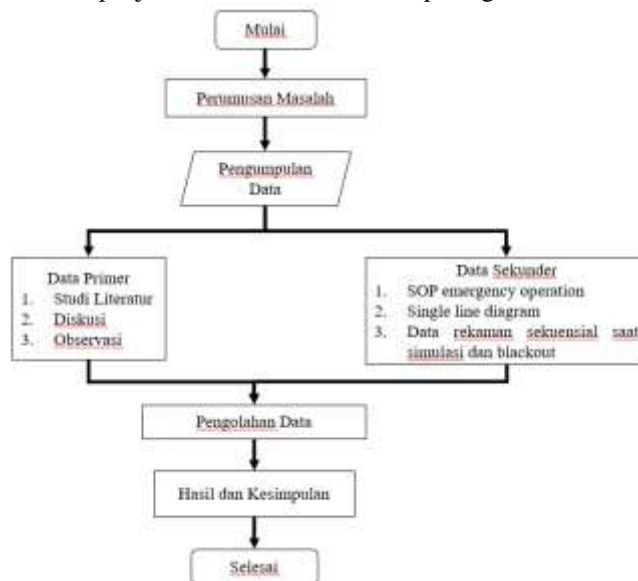
Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan teknik analisis data model miles dan huberman, yang dimana proses ini mengolah data deskriptif (hasil diskusi dan observasi) dan data teknis (data log sequence of event actual dan simulasi yang dibandingkan dengan standar manual book perusahaan) di PLTU batang. pendekatan kualitatif ini dipilih karena penelitian ini berfokus pada penjelasan urutan sekuensial ketika terjadi blackout dan membandingkan kesesuaian waktu responnya dengan standar manual book perusahaan berdasarkan data actual kejadian dan data saat simulasi yang terbaca dan terdokumentasi. dan juga untuk mengetahui mitigasi apa yang harus dilakukan ketika terjadi kegagalan dalam membackup dan pemeliharaan yang dilakukan selama ini untuk menjaga kehandalan emergency backup system saat blackout terjadi.[10][11][12]

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan literatur-literatur melalui manual book maupun web terkait dengan emergency backup system, yang digunakan sebagai dasar dan acuan dalam penelitian. lalu dilanjutkan dengan melakukan observasi langsung di lokasi PLTU batang khususnya pada area objek penelitian yang akan diteliti yaitu Baterai UPS dan Emergency Diesel Generator (EDG) system dan beban-beban mekanis kritis seperti pompa pelumas darurat untuk turbin dan seal untuk generator. kemudian melakukan diskusi dengan orang yang lebih berpengalaman seperti Unit Controller di CCR monitor dan Maintenance Electric untuk mengumpulkan data dan informasi yang sistematis dari permasalahan yang diambil di penelitian ini. yang terakhir mengambil dokumentasi data-data yang diperlukan dari PLTU batang.

Dalam pelaksanaannya, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu tahapan Kondensasi Data, tahapan Penyajian Data, tahapan Penarikan Kesimpulan dan Verifikasi. Pada tahap Kondensasi Data dilakukan dengan mengumpulkan data-data melalui diskusi dan observasi kondisi Emergency backup System dengan tim operation dan tim maintenance serta menyaring data dari log sequence of event recorder (SER) saat melakukan simulasi dan actual blackout. Pada tahap Penyajian Data dilakukan dengan penyajian menggunakan teks naratif-deskriptif untuk menjelaskan kondisi operasional actual, dan bagan alir (flowchart) untuk menggambarkan logika sekuensial otomatis.

Untuk menjamin keakuratan data, dilakukan proses verifikasi terhadap hasil analisis dengan membandingkan data historis kejadian blackout sebelumnya serta memastikan kesesuaian data yang ditemukan dengan prosedur standar operasional maupun manual book operasional [11], [12]. Validasi ini penting untuk memastikan bahwa hasil analisis benar-benar mencerminkan kondisi aktual kejadian blackout dan hasil dari simulasi blackout.

Selanjutnya, hasil analisis dikaitkan dengan indikator apa saja dampak yang terjadi bila emergency backup system mengalami kegagalan, mitigasi apa saja yang dilakukan untuk mengurangi dampak tersebut. dan juga melakukan evaluasi pemeliharaan apa saja yang telah dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem secara menyeluruh. untuk diagram alir dari penjelasan diatas, bisa di lihat pada gambar 1 :

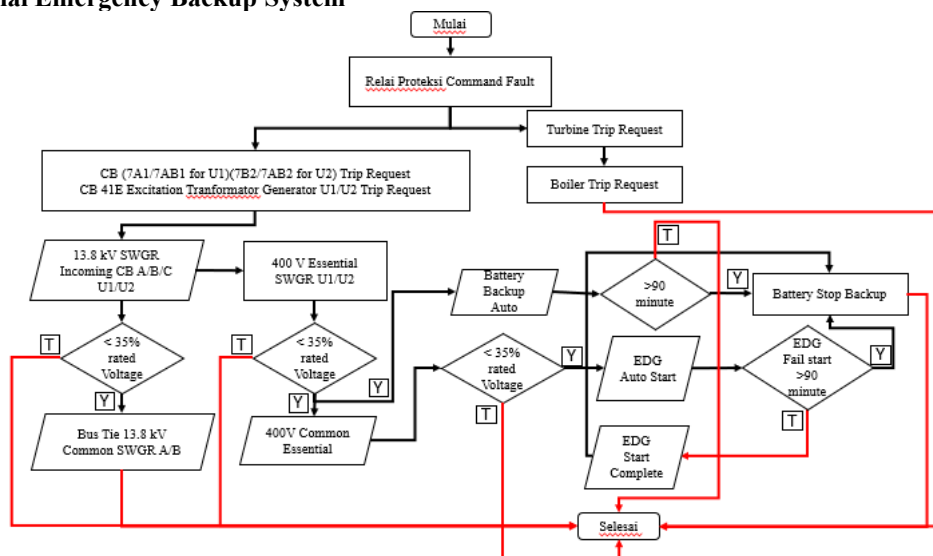


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil dari penelitian yang dibuat, yaitu “Analisis Emergency Backup System saat Blackout di PLTU Batang” meliputi Analisis Sekuensial Emergency Backup System, Analisis Waktu Respon ketika terjadi gangguan Blackout, lalu ketika terjadinya kegagalan mitigasi apa yang harus dilakukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan, dan pemeliharaan apa saja yang telah dilakukan untuk menunjang kehandalan sistem emergency backup system.

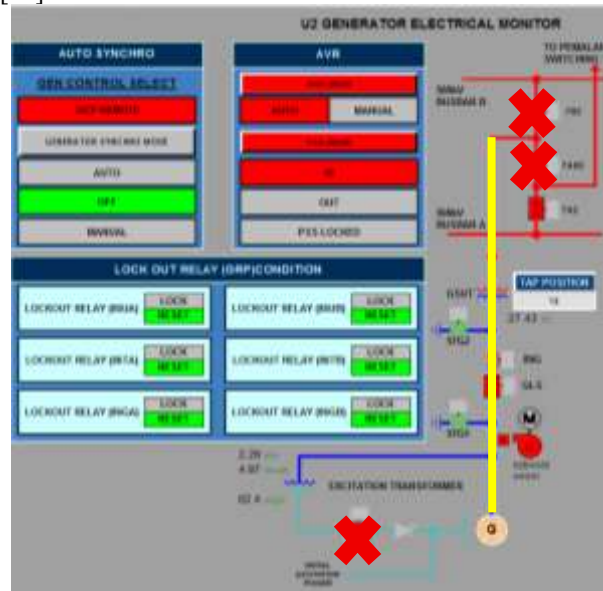
3.1. Sekuensial Emergency Backup System



Gambar 2. Diagram Alir Sekuensial Emergency Backup System

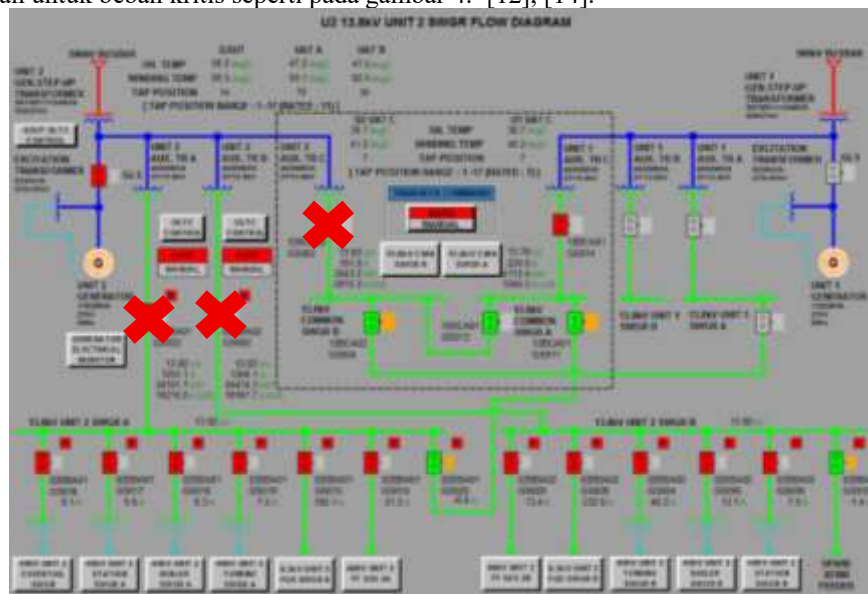
Pada diagram alir gambar 2. dapat disimpulkan Sekuensial Emergency Backup System merupakan kronologis dari urutan kerja otomatis yang terjadi pada sistem proteksi dan otomasi kelistrikan. ketika terjadinya gangguan total pada jaringan interkoneksi (blackout), seluruh urutan kerja ini dikendalikan oleh Distributed Control System (DCS) yang terhubung dengan relai proteksi seperti sistem Automatic Mains Failure (AMF) dan Automatic Transfer Switch (ATS). ada 4 Fase dalam Sekuensial Emergency Backup System di PLTU Batang, Fase Deteksi Gangguan, Fase Pelepasan Beban Otomatis, Fase Auto-Switching dan Fase Pemulihan Beban[13].

Fase Deteksi Gangguan, Fase dimana ketika terjadinya gangguan pada jaringan atau line busbar dari generator hingga ke GSUT ataupun GSUT ke GIS 500kV. Relay proteksi yang terpasang akan mendeteksi adanya gangguan abnormal parameter diambang batas normal, lalu relay proteksi akan mengirimkan sinyal trip ke CB 7A1/7AB1 untuk unit 1 atau 7B2/7AB2 untuk unit 2 dan juga CB 41 E untuk Excitation Transformer Generator U1 atau U2 untuk memutus hubungan antara pembangkit dengan jaringan interkoneksi guna melokalisasi gangguan. seperti pada gambar 3. dibawah ini: [14]

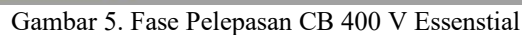


Gambar 3. Fase Deteksi Gangguan

Fase Pelepasan Beban, merupakan sistem kontrol pada Distributed Control System (DCS) yang secara simultan mengaktifkan modul load trip yaitu ketika seluruh beban listrik pada pembangkit di putus secara paksa. dengan cara melepas CB MV Switchgear 13.8 kV A, B dan Common. hal ini dilakukan agar daya darurat yang terbatas hanya dialokasikan untuk beban kritis seperti pada gambar 4. [12], [14].

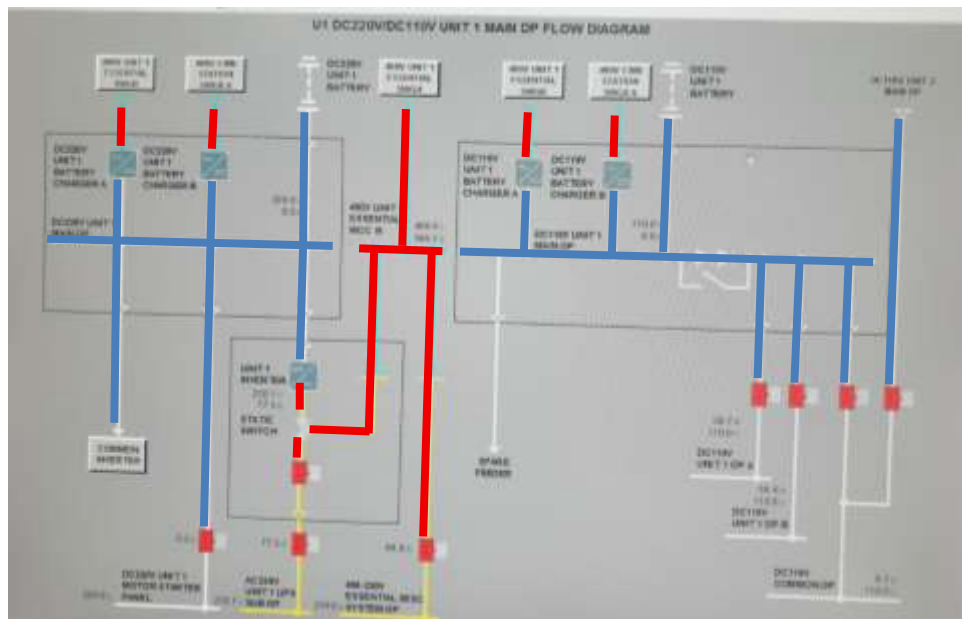


Gambar 4. Fase Pelepasan CB 13.8 kV Switchgear A,B dan Common



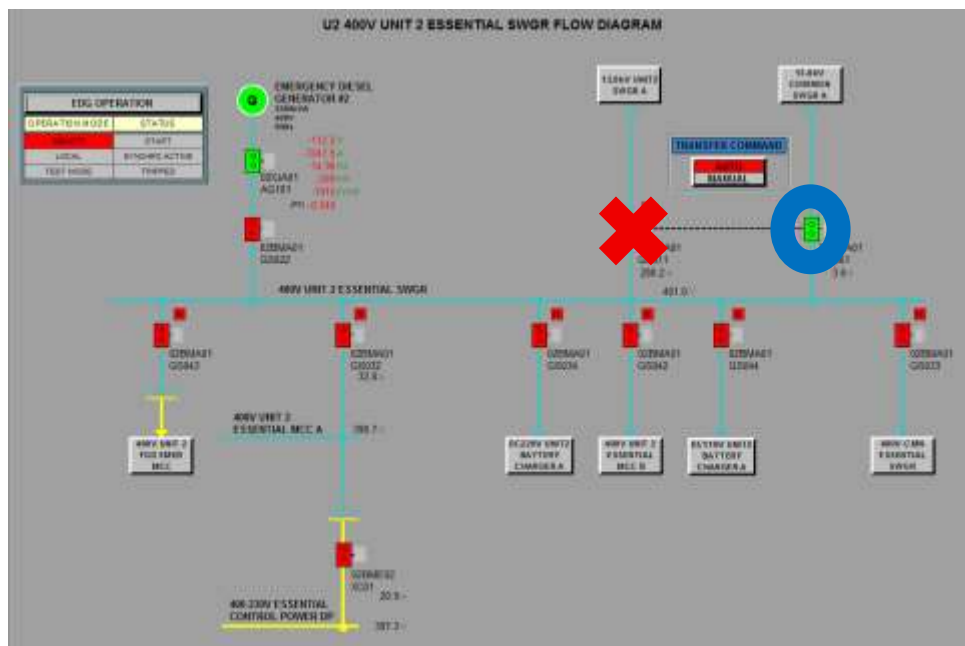
Fase Auto-Switching, fase Auto Switching merupakan fase ketika terjadi Unit Blackout kehilangan tegangan (35% rated Voltage) pada busbar *Common Switchgear* memicu *Auto Switching BusTie* pada 13.8 kV *Common Switchgear* dari *Unit* yang normal dan kehilangan tegangan (<35% rated voltage) pada *Busbar 400 V Essensial Switchgear* memicu Baterai/UPS *Auto Backup* dan *Auto Switching* ke 400 V *Common Essensial*.

CB 13.8kV *common* SWGR akan langsung *auto-switching close* ketika busbar *common* mendeteksi adanya *undervoltage*, untuk membantu supply tegangan pada busbar *common* di unit yang terjadi *blackout*.



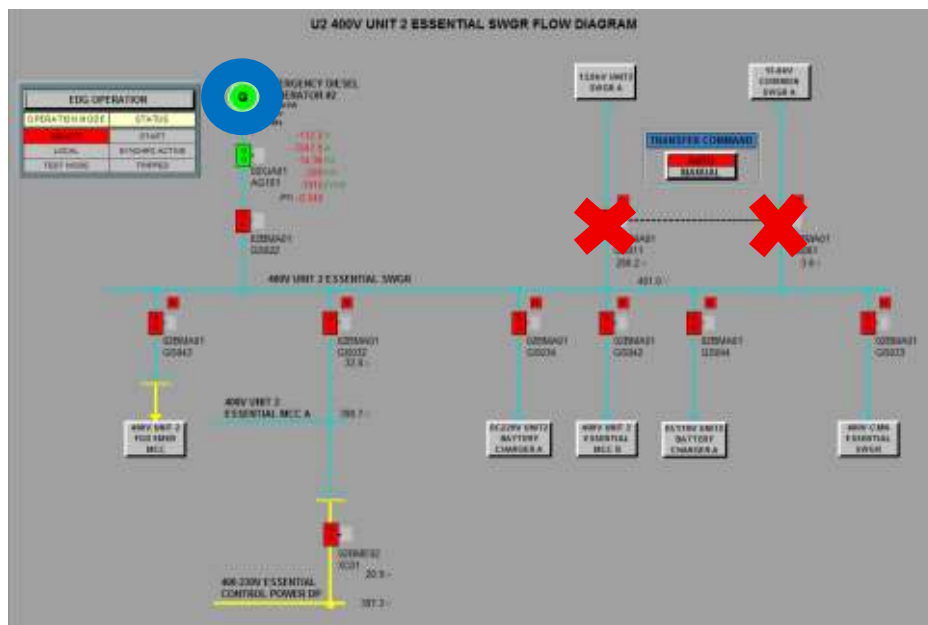
Gambar 7. Auto-Switching Baterai

Ketika terjadi hilangnya daya pada busbar 400V essential SWGR, baterai akan otomatis Switching membackup supply daya dengan melakukan starting pompa-pompa untuk beban-beban kritis dan membackup daya 230V AC untuk mensupply tegangan UPS pada monitor-monitor di control room dan backup daya 110V DC untuk relai-relai.



Gambar 8. Auto-Switching CB 400V Essential Common SWGR

Ketika terjadinya hilangnya daya pada busbar 400 V *Essential* SWGR dan baterai sudah membackup. saat *Unit Blackout* CB dari Unit yang beroperasi normal akan terpicu otomatis *close* untuk membantu membackup tegangan 400V *Essential* SWGR dan baterai akan berhenti membackup bila tegangan 400V sudah terbaca



Gambar 9. Auto-Switching CB EDG

ketika terjadinya hilang daya pada busbar 400 V Essential SWGR dan baterai sudah membackup. saat *Plant Blackout* terjadi EDG akan terpicu otomatis *starting* dan ketika parameter daya sudah stabil dan aman, CB EDG *auto-switching close* untuk membantu membackup tegangan 400V Essential SWGR dan baterai akan berhenti membackup bila tegangan 400V sudah terbaca pada masing-masing unit.

Fase Pemulihan Beban, merupakan fase ketika *supply* tegangan dari 13.8 kV Common Switchgear Busbar dan 400 V Essential Busbar sudah mengalir, maka untuk melakukan shutdown secara aman bisa dilakukan. Ketika tegangan 400 V esensial sudah tersedia, maka baterai UPS akan berhenti mem-backup dan unit *Blackout* akan memasuki tahapan shutdown aman.

3.2 Analisis Waktu Respon

Merupakan parameter paling krusial untuk mencegah kerusakan mekanis ketika terjadinya gangguan karena dapat menyebabkan beberapa dampak pada peralatan pembangkit itu sendiri.

BateraiUPS

Waktu respons bernilai 0 detik (tanpa putus) memanfaatkan prinsip konversi statis baterai untuk menjaga suplai data monitor DCS dan *Starting* untuk pompa beban-beban kritis (selama 90 menit menurut manual book)[15]. namun bila kita hitung menggunakan data tabel yang digunakan pada beban-beban kritis seperti dibawah ini:

Tabel 1 Tabel daya beban-beban kritis pada BateraiUPS 220 VDC

Jenis	Daya keluaran (W)
Emergency Oil Pump	75000
Emergency Seal Oil Pump	15000
Emergency Oil Pump BFPT A	11000
Emergency Oil Pump BFPT B	11000
UPS AC 230V	82250

Dengan tabel diatas maka bisa didapatkan berapa lama pemakaian baterai yang bisa digunakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{V \times C \times n \times pf}{P} = \frac{2 \times 3000 \times 216 \times 0,9}{194250} = 6 \text{ jam}$$

t = Waktu Pemakaian (Jam)

C = Kapasitas Baterai (Ampere-hour/Ah)

V = Tegangan Baterai (Volt)

n = Jumlah Baterai

pf = Faktor Efisiensi Baterai (0,9)

P = Daya Total Beban

Dengan hasil perhitungan tersebut bila dibandingkan dengan manual book yang berlaku, sudah jauh lebih baik dalam waktu lama pemakaiannya.

Emergency Diesel Generator (EDG) Start hingga siap beban

Target waktu respons mekanis standar di PLTU Batang adalah **maksimal 15 detik** dari sejak sinyal hilangnya daya eksternal aktif hingga generator mencapai tegangan penuh (mampu mensupply tegangan **hingga 8 jam** menurut manual book). namun bila kita hitung menggunakan tabel data dibawah ini:[16]

Tabel 2. Tabel data untuk pemakaian EDG

Jenis	Data
Kapasitas Fuel Tank	5000 L
Kapasitas Daya EDG	2000 KW
Keamanan kapasitas Fuel Tank	75%
Kapasitas Daya EDG yang digunakan	1880 KW

Dengan tabel diatas maka bisa didapatkan berapa lama pemakaian EDG yang bisa digunakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_{efektif} = 5000 \times 75\% = 3750 \text{ liter}$$

$$FC = 0,21 \times 1880 = 394,8 \text{ liter/jam}$$

$$t = \frac{3750}{394,8} = 9,49 \text{ jam} = 9 \text{ jam } 29 \text{ menit}$$

Dengan hasil perhitungan tersebut bila dibandingkan dengan manual book yang berlaku, sudah jauh lebih baik dalam waktu lama pemakaiannya.

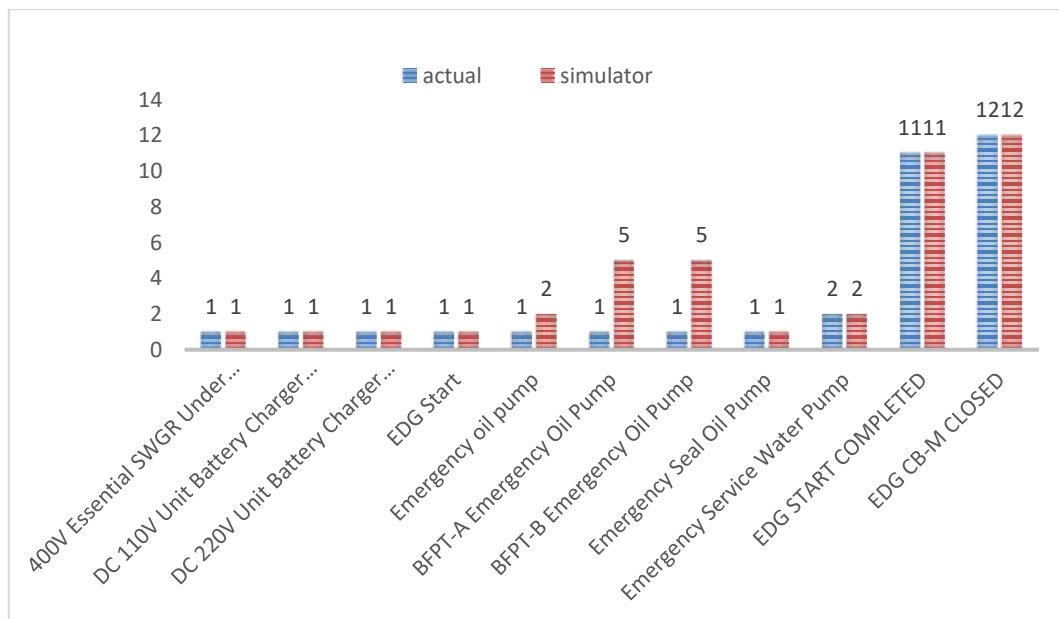
Berdasarkan record antara kondisi actual dan hasil dari simulator, juga menurut acuan dari manual book mendapatkan hasil sebagai berikut pada tabel dibawah ini:[11]

Tabel 3. Tabel Perbandingan sekuensial dan waktu respons

Tabel Perbandingan Sekuensial & Waktu respons					
No	Event	Time			Parameter
		Actual	Simulator	Manual Book	
1	7A1/7AB1 Unit 1 atau	11:34:44:530	13:00:00		
	7B2/7AB2 Unit 2				
	41E excitation				
2	Transformator Generator U1/U2	11:34:44:530	13:00:00		
3	13.8kv Unit SWGR A/B/Common Incoming	11:34:44:614	13:00:00		
	open				
4	400V Essensial SWGR Under Voltage	11:34:44:650	13:00:06		
5	DC 110V Unit Baterai Charger A/B	11:34:44:650	13:00:06	0 sec (after 400V Essensial SWGR under voltage)	Sesuai
6	DC 220V Unit Baterai Charger A/B	11:34:44:650	13:00:06	0 sec (after 400V Essensial SWGR under voltage)	Sesuai
7	EDG Start	11:34:44:700	13:00:06	0 sec (after 400V Essensial SWGR under voltage)	Sesuai
8	Emergency Oil Pump	11:34:45	13:00:07	0 sec (by press bearing Oil low)	Sesuai
9	BFPT-A Emergency Oil Pump	11:34:44.700	13:00:10	0 sec (by press hp dan bearing Oil low)	Sesuai
10	BFPT-B Emergency Oil Pump	11:34:44.700	13:00:10	0 sec (by press hp dan bearing Oil low)	Sesuai
11	Emergency Seal Oil Pump	11:34:44.700	13:00:06	0 sec (by diff press low)	Sesuai

12	Emergency Service Water Pump	11:34:46	13:00:08	0 sec (by temp BCP casing heat barrier)	Tidak sesuai
13	EDG START COMPLETED	11:34:55	13:00:17	(maks 15 sec setelah EDG Start)	Sesuai
14	EDG CB-M CLOSED	11:34:56	13:00:18	(maks 15 sec setelah EDG Start)	Sesuai

Seperti pada Tabel perbandingan diatas, untuk waktu respon antara simulasi, maupun actual kondisi saat terjadi *Blackout* kebanyakan sudah masuk sesuai dengan parameter yang ada pada manual book di PLTU Batang, namun ada 1 yang tidak sesuai karena untuk emergency service water pump startnya akan menyesuaikan dengan temperature BCP casing heat barrier.



Gambar 10. Grafik Perbandingan EDG Actual dan Simulator

3.3. Mitigasi Apa yang dilakukan ketika terjadinya kegagalan *emergency backup System*

Kondisi ketika sistem mengalami plant Blackout dan sumber daya darurat Emergency Diesel Generator (EDG) gagal menyala ataupun melebihi waktu 15 detik dari standar manual book perusahaan, maka ada beberapa tindakan mitigasi yang bisa dilakukan bertahap:

Starting manual dari local untuk EDG

Ketika EDG maupun BateraiUPS mengalami kegagalan, bisa lakukan pengecekan secara cepat untuk mendeteksi kegagalan mekanis atau kelistrikan yang terjadi pada EDG dan melakukan starting manual dari local apabila sistem Auto-Transfer Switch (ATS) pada EDG tidak berfungsi (prioritas utama ketika baterai UPS tidak membackup).

Memantau Ketahanan Baterai

sebagai prioritas utama selama pasokan tegangan 400V *essential* belum pulih. monitoring tegangan baterai, dengan memantau tegangan busbar DC secara berkala untuk mengantisipasi penurunan tegangan secara langsung yang bisa memicu trip pada peralatan control.

Mengurangi H2 gas pada generator

untuk menjaga tegangan baterai tetap memadai dan belum ada tanda tegangan AC pulih dalam waktu yang lama, bisa dilakukan pengurangan gas H2 perlahan dengan menggunakan gas CO2 untuk mengurangi konsentrasi gas H2 di generator dan juga mengamankan dari ledakan pada generator apabila emergency seal oil pump mati.

Melakukan hand turning pada turning gear

bila poros turbin berhenti berputar, dan tegangan 400V *essential* belum pulih. bisa dilakukan hand turning dari local untuk membantu sementara turbin berputar pelan.

3.4 Pemeliharaan BateraiUPS dan EDG

Untuk menjamin kesiapan 100%, diterapkan strategi pemeliharaan berbasis waktu dan kondisi (*Time & Condition Based Maintenance*):

Pemeliharaan Rutin 2 Minggu sekali: Pengujian *Start* tanpa beban (*Routine No-Load Test*) dan berbeban selama 15 menit untuk menguji fungsi motor *Starter* dan sirkulasi bahan bakar pada EDG. Pengecekan visual level oli, air pendingin, dan tegangan *charger* baterai.

Pemeliharaan Bulanan: Pengujian pada baterai 110 VDC dan 220 VDC meliputi, Visual check, kapasitas tegangan (*Voltage*) dan pengukuran internal resistansi per baterai.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan mengenai *Emergency Backup System* saat terjadi *Blackout* di PLTU Batang, dapat disimpulkan bahwa sistem *Emergency Backup* mampu bekerja secara otomatis dan terintegrasi melalui empat fase kritis, yaitu deteksi gangguan oleh *relay command trip*, isolasi jaringan dan pelepasan beban, penyediaan daya kontrol melalui baterai/UPS dan EDG, serta pemulihan beban esensial secara bertahap untuk memastikan kondisi *shutdown* yang aman. Hasil simulasi dan kejadian *Blackout* menunjukkan bahwa EDG mampu memulihkan tegangan *Busbar Essential* dalam waktu 11 detik, sehingga memenuhi batas waktu 15 detik yang ditetapkan dalam SOP PLTU Batang. Meskipun demikian, kegagalan EDG dan baterai/UPS secara bersamaan berpotensi menyebabkan kondisi *Total Station Blackout*, sehingga diperlukan tindakan mitigasi berupa *starting manual* EDG dari *local*, pemantauan dan penghematan daya baterai, pengurangan beban nonkritis, pengendalian konsentrasi H_2 pada generator, serta *hand turning* pada *turning gear* apabila diperlukan. Untuk mempertahankan keandalan dan kesiapan *Emergency Backup System*, penerapan *Time & Condition Based Maintenance* melalui *preventive maintenance* secara berkala serta simulasi *Blackout* pada simulator sangat diperlukan guna memastikan keandalan peralatan sekaligus meningkatkan kesiapan dan ketangkasan personel dalam menghadapi kondisi darurat.:

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang sudah membantu penelitian kami, sampai selesai serta sampai pembuatan artikel ini selesai.

REFERENCES

- [1] S. Mulyani, "Implementasi black start plta bakaru terhadap island bakaru di sistem SULBAGSEL," 2022.
- [2] M. Hassan, Zamzami, and N. Safitri, "Analisa Sistem Kerja Black Start Pada Generator Emergency 1.008 KW di PT. Sewatama Sumbagut 2 Peaker Power Plant 250 MW," *J. Tekro*, 2023.
- [3] R. Abdullah, D. Meliala, and Z. Zufahri, "Studi Pltg Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut Sebagai Black Start Saat Kehilangan Tegangan Pada Sistem 150 Kv," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 11–17, 2018, doi: 10.31849/sainetin.v2i1.1666.
- [4] I. Pratama, "Studi Pltg Unit 1 ULPL Keramasan Palembang Pada Saat (Black Start) Pada Sistem 150 kV," 2021.
- [5] Y. Nantan, N. Lembang, and T. Amiruddin, "ANALISA TEKNIS KONDISI BLACKOUT PADA PLTD KEBUN KAPAS PT. PLN (PERSERO) ULP FAKFAK," *J. Media Elektr.*, 2023, doi: 10.59562/metrik.v20i2.5494.
- [6] Abimanyu, I. Ahmad Gaffar, and S. Pranoto, "Analisis Baterai Dalam Mempertahankan Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Punagaya 2X100 Mw," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, 2021.
- [7] Marqusee, J., & Jenket II, D. (2020). Reliability of emergency and standby diesel generators: Impact on energy resiliency solutions. *Applied Energy*, 268, 114918. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114918>
- [8] J. H. Purba, I. Zarma Putra, and L. Al Hakim, "Simulasi Sistem Backup Otomatis Kerja Emergency Diesel Generator (EDG) saat Kondisi Blackout pada PLTGU Tanjung Uncang 120 MW," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, 2023.
- [9] Marqusee, J., & Jenket II, D. (2021). Impact of emergency diesel generator reliability on microgrids and building-tied systems. *Applied Energy*, 285, 116437. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116437>
- [10] Kančev, D., Duchac, A., Zerger, B., Maqua, M., & Watrelos, D. (2014). Statistical analysis of events related to emergency diesel generators failures in the nuclear industry. *Nuclear Engineering and Design*, 273, 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2014.03.050>
- [11] Lima do Nascimento, J. M., Rivero, J. J., Frutuoso e Melo, P. F., & Perdomo, M. (2021). Component unavailability model for PSA Level I applications considering aging and startup degradation: An application to an emergency diesel generator system. *Annals of Nuclear Energy*, 153, 108000. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.108000>.
- [12] *Availability of the Emergency Safety Electrical System of a Konvoi Nuclear Power Plant Considering Mobile Arrangements of Diesel Generators After Fukushima*. (2023). *Nuclear Technology*, 210(3), 436–456. <https://doi.org/10.1080/00295450.2023.2229182>
- [13] Musmuliadi, Mado, I., Budiman, A., Subarianto, & Rantepadang, A. (2023). *Reliability Analysis of 3 Phase Generator Set as an Emergency Power Supply If There are Electricity Outages at PT. Intracawood Manufacturing*. *Journal of Emerging Supply Chain, Clean Energy, and Process Engineering*, 2(2), 99–108
- [14] Guo, D., Yang, M., Wu, H., Ge, D., & Cao, X. (2021). Dynamic reliability evaluation of diesel generator system of one Chinese 1000MWe NPP considering temporal failure effects. *Frontiers in Energy Research*, 9, 793577.
- [15] Cavalcante, C. A. V., & Lopes, R. S. (2014). Opportunistic maintenance policy for a system with hidden failures: A multicriteria approach applied to an emergency diesel generator. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 157282. <https://doi.org/10.1155/2014/157282>