

Implementasi Strategi *Load Shedding* Berbasis *Under Frequency Relay* untuk Meningkatkan Kestabilan Sistem Distribusi Listrik di PT Pertamina Pendopo Field

Hari Saputra, Bengawan Alfaresi*, Feby Ardianto

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang, Sumatra Selatan

*Koresponden email: begawan_alfarezi@um-palembang.ac.id

Diterima: 17 September 2025

Disetujui: 11 Desember 2025

Abstract

Disturbances in the stability of the electric power system due to frequency drops caused by disturbances at power plants often occur in the community. This causes damage to electrical equipment, especially those sensitive to frequency. This study discusses the application of the Under Frequency Load Shedding (UFLS) method as a solution to overcome this problem. The study was conducted at PT. Pertamina Pendopo Field, which uses an independent electrical system with several gas-fueled generator units. The method used in this study is a case study with a simulation based on ETAP 19.0.1 software to analyze the system response to disturbances. Calculations were made on the rate of frequency drop and the amount of load that must be shed to maintain system stability. The simulation showed that gradual load shedding of 720 kW with shedding stages at 58.4 Hz and 58.1 Hz frequencies successfully returned the system frequency to normal conditions without shedding critical loads such as production loads. The results of the study indicate that the gradual and selective application of UFLS is effective in maintaining the stability of the electric power system and preventing total blackouts. This scheme also supports the operational continuity of industrial facilities by prioritizing the continuity of power supply to critical loads.

Keywords: *under frequency load shedding, load shedding, frequency stability, electrical distribution system, low frequency relay*

Abstrak

Gangguan kestabilan sistem tenaga listrik akibat turunnya frekuensi yang disebabkan oleh gangguan pada pembangkit listrik sering kali terjadi di masyarakat. Hal ini menyebabkan kerusakan peralatan listrik terutama yang sensitive terhadap frekuensi. Penelitian ini membahas penerapan metode *Under Frequency Load Shedding* (UFLS) sebagai solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian dilakukan di PT. Pertamina Pendopo Field, yang menggunakan sistem kelistrikan mandiri dengan beberapa unit genset berbahan bakar gas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu studi kasus dengan simulasi berbasis perangkat lunak ETAP 19.0.1 untuk menganalisis respon sistem terhadap gangguan. Perhitungan dilakukan terhadap laju penurunan frekuensi dan besar beban yang harus dilepas agar sistem tetap stabil. Simulasi menunjukkan bahwa pelepasan beban secara bertahap sebesar 720 kW dengan tahapan pelepasan pada frekuensi 58,4 Hz dan 58,1 Hz berhasil mengembalikan frekuensi sistem ke kondisi normal tanpa melepas beban penting seperti beban produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan UFLS secara bertahap dan selektif efektif dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik dan mencegah pemadaman total. Skema ini juga mendukung kelangsungan operasional fasilitas industri dengan memprioritaskan kontinuitas pasokan daya pada beban-beban kritis.

Kata Kunci: *under frequency load shedding, load shedding, kestabilan frekuensi, sistem distribusi listrik, relai frekuensi rendah*

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu infrastruktur vital yang harus dijaga keandalannya untuk menjamin kontinuitas pasokan energi pada sektor industri maupun masyarakat. Kestabilan sistem tenaga sangat bergantung pada keseimbangan antara daya yang dihasilkan pembangkit dan daya yang dibutuhkan oleh beban. Ketika terjadi ketidakseimbangan, frekuensi sistem akan mengalami penyimpangan yang berbahaya, bahkan dapat menyebabkan pemadaman total (*blackout*) [1]. Kestabilan frekuensi merupakan indikator utama keandalan sistem tenaga [2]. Dalam sistem *isolated*, kehilangan satu unit pembangkit dengan kapasitas besar dapat mempercepat penurunan frekuensi akibat keterbatasan cadangan putar [3].

Oleh karena itu, standar IEEE Std C37.106-2003 merekomendasikan penerapan proteksi *abnormal* frekuensi untuk menjaga sistem tetap beroperasi dalam batas yang aman [4].

Salah satu strategi pertahanan yang banyak diterapkan adalah *Under Frequency Load Shedding* (UFLS), yaitu pelepasan sebagian beban secara otomatis ketika frekuensi turun di bawah batas tertentu. Pelepasan beban berfungsi untuk mengurangi defisit daya sehingga frekuensi dapat kembali normal. Overload yang terjadi akibat trip pembangkit akan mempercepat penurunan frekuensi jika tidak segera dilakukan pelepasan beban. Desain skema UFLS harus mempertimbangkan laju penurunan frekuensi (*Rate of Change of Frequency/ROCOF*) dan karakteristik sistem agar pelepasan beban tidak berlebihan [5]. *Setting relay under frequency* harus disesuaikan dengan pola penurunan frekuensi sistem [6]. Pada penelitian [7] dijelaskan bahwa metode adaptif *load shedding* lebih efektif dibandingkan skema konvensional. Sejalan dengan hal tersebut, pada penelitian [8] menekankan pentingnya pelepasan beban yang selektif di sistem industri agar beban produksi utama tetap terjaga.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai analisa pelepasan beban yaitu pada penelitian [9]. Ia melakukan penelitian mengenai *load shedding* pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Palopo milik PLN. Penelitian yang kedua yaitu penelitian [10] yaitu penelitian *load shedding* di salah satu pembangkit di Pulau Sumbawa yaitu Tambora. Penelitian yang lain yang membahas mengenai load shading yaitu [11] yang membahas studi kasus di pembangkitan PLTU Tanjung Jati P Jeparo.

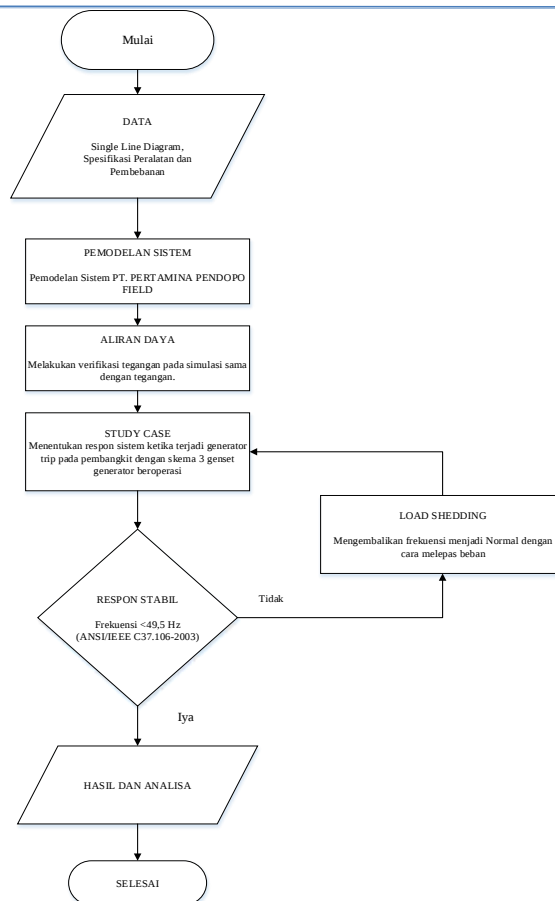
PT. Pertamina Pendopo Field merupakan salah satu lapangan migas yang mengoperasikan sistem tenaga listrik mandiri dengan empat unit genset berbahan bakar gas berkapasitas total 6.039 kW. Pada kondisi normal, tiga unit genset digunakan untuk melayani beban sekitar 4.200–4.500 kW, sementara satu unit lainnya berfungsi sebagai cadangan [12]. Gangguan berupa lepasnya satu unit genset besar dapat menurunkan frekuensi sistem hingga di bawah standar operasi [13]. Hal ini menuntut adanya penerapan skema UFLS yang dirancang khusus sesuai dengan karakteristik sistem isolated [14]. Dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1, penelitian ini melakukan simulasi gangguan untuk menganalisis respon sistem, menentukan tahapan pelepasan beban, serta mengevaluasi efektivitas UFLS dalam menjaga kestabilan frekuensi dan kontinuitas produksi migas [15].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan dari mulai pengumpulan data sampai penarikan kesimpulan. Tahap awal dari penelitian ini yaitu tahapan pengumpulan data. Pada tahapan ini beberapa hal yang dilakukan yaitu melakukan *literature review*, dan juga pengambilan data-data yang dibutuhkan dari untuk pembuatan *Single Line Diagram*, dan mengetahui spesifikasi peralatan dan pembebanan PT. Pertamina Pendopo Field

Tahapan selanjutnya yaitu pemodelan sistem kelistrikan pada PT. Pertamina Pendopo Field dengan penggunaan perangkat lunak ETAP. Selanjutnya dilanjutkan dengan analisa aliran daya untuk melakukan verifikasi tegangan pada simulasi sedta menganalisa respon sistem terhadap perubahan kecepatan putaran turbin (rpm). Setelah analisis respon sistem, dilakukan simulasi gangguan dengan studi kasus gangguan pada sistem kelistrikan PT. Pertamina Pendopo Field yaitu trip salah satu unit generator.

Untuk memastikan apakah sistem dapat stabil kembali, dilakukan penyelidikan terhadap respons terhadap variasi frekuensi yang terjadi setelah gangguan. Efektivitas kedua prosedur kemudian dibandingkan berdasarkan jumlah beban yang dibuang dan waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan sistem kembali. Jika sistem tidak dapat kembali stabil, prosedur pembuangan beban diterapkan sesuai dengan skema IEEE 1 dan aturan SOP Pertamina. Langkah selanjutnya yaitu tahapan hasil dan analisa dari penelitian ini, sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan dari penelitian ini. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1** di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan *Rate of Change of Frequency* (ROCOF)

Besaran kelebihan beban, frekuensi nominal sistem, daya tampaknya generator, dan konstanta inersia atau nilai inersia generator semuanya mempengaruhi seberapa besar laju penurunan frekuensi. Frekuensi sistem yang diproyeksikan setelah pemutusan beban dihitung menggunakan laju penurunan frekuensi. Terdapat kelebihan beban sebesar 720 kW karena pasokan beban adalah 1730 kW dan beban selama gangguan adalah 2450 kW. Frekuensi nominal generator adalah 60 Hz, dan konstanta inersianya adalah $H = 1,2 \text{ kW}\cdot\text{s/kVA}$. Dalam sistem, daya tampaknya generator adalah 2742,5 kW [16].

Diketahui:

- CB 67 = 57,9 Hz
- CB 52 = 57,5 Hz

Delay Waktu:

- CB 67 = 0,04 s
- CB 52 = 0,08 s

$$P_{load} = 2,450 \text{ kW}$$

$$P_{supply} = 1,730 \text{ kW}$$

$$\Delta p = 720 \text{ kW}$$

$$S_{base} = 2,742.5 \text{ kW}$$

$$H = 1,2 \text{ detik}$$

$$f_o \text{ awal} = 60 \text{ Hz}$$

Konversi ke P.u

$$\Delta pu = \frac{\Delta p}{S_{base}} = \frac{720 \text{ kW}}{2742.5 \text{ kW}} = 0,2625 \text{ pu}$$

Hitung koefisien

$$\frac{f_o}{2H} = \frac{60 \text{ Hz}}{2 \cdot 1,2} = \frac{60 \text{ Hz}}{2,4} = 25$$

Laju penurunan frekuensi awal

$$\frac{df}{dt} = - \frac{f_o}{2H} \Delta pu$$

$$\frac{df}{dt} = - \frac{f_o}{2H} \Delta pu = -25 \cdot 0,2625$$

$$\frac{df}{dt} = -6,563 \text{ Hz/s}$$

Rate of Change of Frequency (ROCOF) menunjukkan seberapa cepat frekuensi sistem berubah akibat ketidakseimbangan antara daya pembangkit dan daya beban. Dalam kasus ini, ROCOF dihitung karena genset DEUTZ tiba-tiba trip dan menyebabkan hilangnya daya sebesar 720 kW. Nilai ROCOF sebesar -6,56335 Hz/s berarti bahwa setiap detik, frekuensi sistem turun sebesar -6,56335 Hz jika tidak ada intervensi. Ini adalah penurunan yang sangat cepat dan berbahaya, karena sistem pembangkit dan beban tidak mampu bekerja optimal di luar rentang frekuensi nominal.

Waktu untuk mencapai pick up (tanpa pengaruh pelepasan beban)

$$tc = \frac{f_o - f_{pu}}{\frac{df}{dt}}$$

CB 67 (57,9 Hz)

$$tc = \frac{60 \text{ Hz} - 57,9 \text{ Hz}}{6,56335 \text{ Hz/s}}$$

$$tc = \frac{2,1}{6,56335 \text{ Hz/s}}$$

$$tc = 0,31995 \text{ s}$$

CB 52 (57,5 Hz)

$$tc = \frac{60 \text{ Hz} - 57,5 \text{ Hz}}{6,56335 \text{ Hz/s}}$$

$$tc = \frac{2,5}{6,56335 \text{ Hz/s}}$$

$$tc = 0,38090 \text{ s}$$

Waktu Trip (Pick up dan Waktu Delay)

CB 67 (Delay 0,04 s)

$$t_{trip1} = t_{c1} + t_{delay1} = 0,31995 + 0,04 = 0,360 \text{ s}$$

CB 52 (Delay 0,08 s)

$$t_{trip2} = t_{c2} + t_{delay2} = 0,38090 + 0,08 = 0,461 \text{ s}$$

Jarak waktu antar tahap pelepasan beban

$$\Delta t = t_{trip2} - t_{trip1} = 0,461 - 0,360 = 0,101 \text{ s}$$

Sekitar 100ms

Frekuensi Saat Load Shedding Aktif

$$f(t_{trip1}) = f_o + \frac{df}{dt} \cdot t_{trip1}$$

$$f(t_{trip1}) = 60 + (-6,56335) \cdot 0,360$$

$$f(t_{trip1}) = 60 - 2,3625$$

$$f(t_{trip1}) = 57,637 \text{ Hz}$$

Setelah Trip Tahap 1 dan ROCOF Baru

CB 67 membuka, lepaskan beban tahap 1 sebesar 400 kW

Sisa Defisit

$$\Delta P_{after1} = 720 - 400 = 320 \text{ kW}$$

Konversi ke p.u

$$\Delta P_{after1,pu} = \frac{320}{2742,5} = 0,1166 \text{ pu}$$

ROCOF Baru

$$\begin{aligned}\frac{df}{dt} \text{ after1} &= -\frac{f_o}{2H} \Delta p_{\text{after1},pu} \\ \frac{df}{dt} \text{ after1} &= -25.0,1166 \\ \frac{df}{dt} \text{ after1} &= -2,9170 \text{ Hz/s}\end{aligned}$$

Frekuensi pada saat trip tahap 2 (Setelah interval 0,101 s dengan ROCOF Baru)

$$\Delta_t = t_{\text{trip2}} - t_{\text{trip1}} = 0,461 - 0,360 = 0,101 \text{ s}$$

Penurunan frekuensi selama interval

$$\begin{aligned}\Delta_f &= \frac{df}{dt} \text{ after1} . \Delta t \\ \Delta_f &= -2,9170 . 0,101 \\ \Delta_f &= -0,2944\end{aligned}$$

Sehingga Frekuensi pada saat trip tahap 2

$$\begin{aligned}f(t_{\text{trip2}}) &= f(t_{\text{trip1}}) + \Delta f \\ f(t_{\text{trip2}}) &= 57,637 \text{ Hz} - 0,2944 \\ f(t_{\text{trip2}}) &= 57,3430 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Kostanta waktu 27 detik pemulihan setelah di lakukan pelepasan tahap 2

$$t_{up} = \frac{60 - f_{\text{nadir}}}{t_{rec}} = \frac{2,567}{27} = 0,09841 \text{ Hz/s}$$

Frekuensi setelah pelepasan tahap 2 pada detik ke 27

$$\begin{aligned}f_t &= f_{\text{nadir}} + T_{up} t \\ f_t &= 57,343 + 0,09841 . 27 \\ f_t &= 60 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Persentase Beban Yang Di Lepas
Tahap 1

$$\begin{aligned}\%P_{shed,i} &= \frac{P_{shed,i}}{PL} \times 100\% \\ \%P_{shed,i} &= \frac{400}{2,450} \times 100\% \\ \%P_{shed,i} &= 16,33\%\end{aligned}$$

Tahap 2

$$\begin{aligned}\%P_{shed,i} &= \frac{P_{shed,i}}{PL} \times 100\% \\ \%P_{shed,i} &= \frac{320}{2,450} \times 100\% \\ \%P_{shed,i} &= 13,06\%\end{aligned}$$

Total Semua Beban

$$\begin{aligned}\%P_{shed,total} &= \frac{P_{shed,total}}{PL} \times 100\% \\ \%P_{shed,i} &= \frac{720}{2,450} \times 100\% \\ \%P_{shed,i} &= 29,39\%\end{aligned}$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan ROCOF

Skema	Tahapan pelepasan	Faktor kelebihan beban	Frekuensi akhir	Setting Relai	Beban yang dilepas	Waktu
1	Tahap 1	16,33%	57,9 Hz	57 Hz	400 kW	3,60 s
2	Tahap 2	13,06%	57,5 Hz	57 Hz	320 kW	14,61 s

Waktu tunda dari hasil perhitungan di atas adalah 10 detik sekitar 100 ms

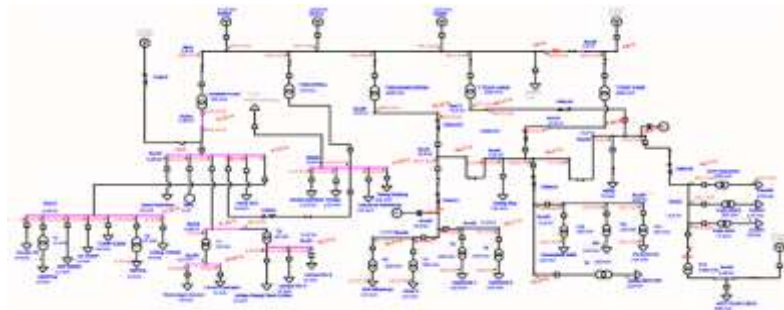
Pelepasan beban pada sistem tenaga listrik merupakan salah satu metode utama untuk menjaga stabilitas frekuensi saat terjadi ketidakseimbangan antara suplai daya dan permintaan beban. Berdasarkan hasil perhitungan, strategi pelepasan beban dilakukan secara bertahap melalui dua *Circuit Breaker* (CB), yaitu CB67 pada tahap pertama dan CB52 pada tahap kedua. Pada tahap pertama, relai dengan waktu tunda sebesar 0,434 detik melepas beban sebesar 400 kW atau 16,33% dari total beban sistem.

Pelepasan ini menyebabkan frekuensi turun hingga mencapai nadir sebesar 57,9 Hz. Meskipun frekuensi sempat berada di bawah frekuensi nominal (60 Hz), pemulihan berlangsung relatif cepat, yaitu mencapai 58,5 Hz dalam 2,2 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan beban tahap pertama cukup efektif dalam menahan penurunan frekuensi agar tidak melewati batas kritis, sekaligus memulai proses pemulihan frekuensi sistem.

Tahap kedua load shedding dilakukan melalui CB52 dengan waktu tunda 0,834 detik, yaitu 40 ms setelah tahap pertama, dengan pelepasan beban tambahan sebesar 320 kW atau 13,06%. Pelepasan tahap kedua ini membuat frekuensi sistem turun lebih lanjut hingga mencapai nadir 57,5 Hz. Namun demikian, sistem tetap berada di atas batas minimum frekuensi operasional 57 Hz, sehingga masih dalam kondisi aman. Proses pemulihan frekuensi setelah tahap kedua menunjukkan kinerja yang baik, dengan kenaikan menuju 59 Hz dalam 6,6 detik, serta mendekati frekuensi nominal 59,5 Hz dalam 12,7 detik, sebelum akhirnya mencapai kondisi steady state 60 Hz dalam 27 detik. Secara keseluruhan, pelepasan beban bertahap sebesar total 29,39% terbukti efektif menjaga stabilitas sistem, menghindari terjadinya penurunan frekuensi yang berlebihan, dan mempercepat proses pemulihan menuju kondisi normal [17].

3.2 Studi Wilayah

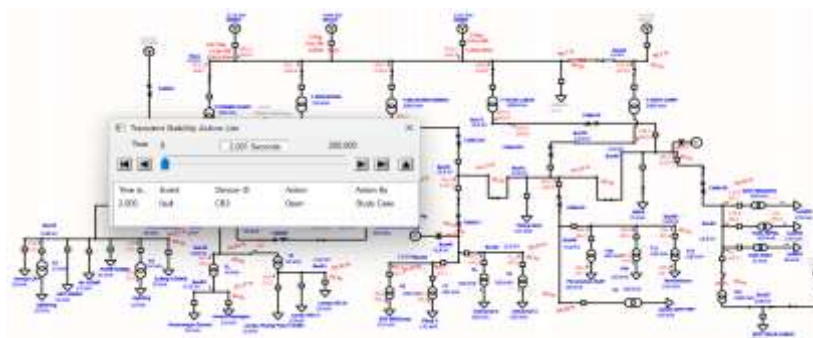
Penelitian dilakukan di PT. Pertamina Pendopo Field, Kabupaten Penukal Abab Lematang Ilir (PALI), Sumatera Selatan, Indonesia. Sistem kelistrikan di lokasi ini bersifat isolated system yang sepenuhnya mengandalkan beberapa unit generator berbahan bakar gas dengan kapasitas total 6.039 kW. Keempat unit genset yang beroperasi adalah Caterpillar G3516 (1.395 kW), CAT G3606 (1.444 kW), Deutz 2020V16K (1.805 kW), dan MWM (1.395 kW). Sistem ini melayani beban produksi migas, fasilitas industri, serta beban perumahan karyawan. Data tersebut digunakan untuk membuat diagram garis tunggal pada lembar kerja ETAP Power Station, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2. Single Line Diagram pada ETAP 19.0.1

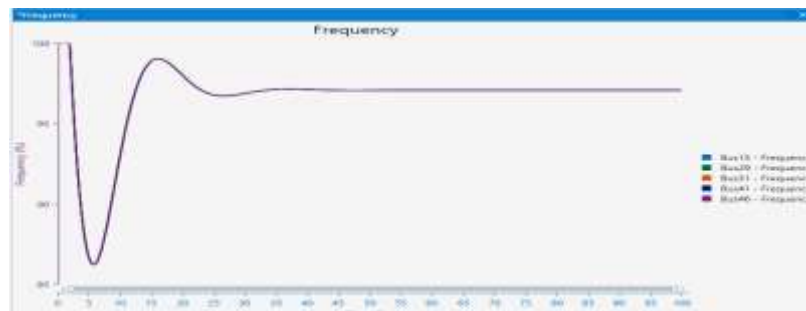
3.3 Studi Kasus

Tahapan pelepasan beban (UFLS) sesuai setting Under Frequency Relay (UFR).



Gambar 3. Action Trip Generator

Pada Simulasi pelepasan beban untuk pembangkit listrik Pertamina berlangsung selama 100 detik, selama periode tersebut, unit generator DEU2T dimatikan pada detik ke-2.

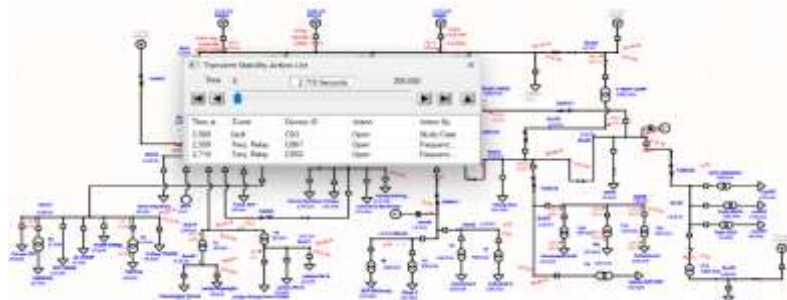


Gambar 4. Respon Frekuensi Setelah Trip Generator

Simulasi studi stabilitas transient yang dilakukan menunjukkan bahwa Generator DEU2T terlepas dari sistem Pembangkit Listrik Pertamina pada detik ke-2, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Pada detik ke-2,1, frekuensi sistem turun menjadi 58,4 Hz. Setelah itu, frekuensi sistem naik kembali sebelum stabil pada 58,2 Hz setelah 10 detik. Karena frekuensi berada di bawah batas normal, ada kemungkinan terjadinya pemadaman total dalam skenario ini. Oleh karena itu, pemadaman beban perlu diterapkan.

3.4 Tahapan Frekuensi Kerja UFR

Pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa pelepasan beban tahap pertama dilakukan pada CB 67 frekuensi 57,9 Hz. Dengan melepas beban area distribusi Teluk Lubuk sebesar 360 kW, di lanjut pada tahap ke kedua melepas beban dilakukan pada CB 52 frekuensi 57,5 Hz. Dengan melepas beban area distribusi Belakang Gereja sebesar 360 kW.



Gambar 5. Action List Pelepasan Beban 2 Tahap.

3.5 Tahapan Setelah Pelepasan Beban

Pada **Gambar 6** menjelaskan bahwa Setelah dilakukan pelepasan beban 2 tahap area distribusi Teluk Lubuk dan Belakang Gereja dapat di lihat pada grafik frekuensi mengalami kenaikan yang signifikan sehingga frekuensi kembali naik dan konstan pada 60 Hz. Dan nilai frekuensi ini telah memenuhi standar aturan ANSI/IEEE C37.106-2003 bahwa batas *Under Frequency* adalah 50 – 49,5 Hz.



Gambar 6. Respon Frekuensi Setelah di Lakukan Load Shedding.

4. Kesimpulan

Hasil Penelitian ini memuat hasil analisis terhadap kinerja sistem tenaga listrik di PT. Pertamina Pendopo Field dalam menghadapi gangguan berupa trip salah satu unit genset, serta efektivitas penerapan metode *Under Frequency Load Shedding* (UFLS) sebagai solusi mempertahankan kestabilan sistem. Sistem tenaga di lokasi tersebut merupakan sistem mandiri yang bergantung pada beberapa unit genset berbahan bakar gas, sehingga rentan terhadap gangguan frekuensi jika terjadi ketidakseimbangan antara suplai dan beban. Data lapangan yang dikumpulkan meliputi kapasitas genset, profil beban, transformator, serta distribusi daya, yang selanjutnya diolah dan dimodelkan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 untuk kebutuhan simulasi.

Dalam simulasi, diasumsikan terjadi kegagalan pada genset DEUTZ berkapasitas 1805 kW yang mengakibatkan kehilangan daya sebesar 720 kW. Kehilangan daya ini memicu penurunan frekuensi sistem secara signifikan. Berdasarkan perhitungan *Rate of Change of Frequency (ROCOF)*, laju penurunan frekuensi mencapai $-6,563$ Hz/s. Nilai ini menunjukkan bahwa dalam waktu sekitar 0,25 detik, frekuensi dapat jatuh dari kondisi nominal 60 Hz menuju level kritis 58,4 Hz. Penurunan yang sangat cepat ini berpotensi mengarah pada pemadaman total (blackout) apabila tidak segera diantisipasi. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi yang bekerja cepat dan otomatis melalui mekanisme *Under Frequency Relay (UFR)*.

5. Referensi

- [1] E. M. Sartika, R. Sarjono, and R. S. Restianto, "Simulasi Sistem Otomasi Load Shedding menggunakan Prediksi Beban," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 1, p. 180, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i1.180.
- [2] Abdulraheem, Bashir Sabeeh, and Chin Kim Gan. "Power system frequency stability and control: Survey." *International Journal of Applied Engineering Research* 11.8 (2016): 5688-5695.
- [3] R. A. Diantari and M. Rafsanjani, "Studi Laju Penurunan Frekuensi Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Dengan Skema Pelepasan Beban," *Sutet*, vol. 9, no. 2, pp. 72–80, 2019, doi: 10.33322/sutet.v9i2.548.
- [4] S. Sofiah and A. Nopiansyah, "Studi Skema Pelepasan Beban Secara Otomatis Pada Saat Sistem 70 kV Kehilangan Suplai Dari Sistem 150 kV Di Keramasan Menggunakan Rele (UFR)," *J. Surya Energy*, vol. 2, no. 1, p. 128, 2017, doi: 10.32502/jse.v2i1.776.
- [5] D. Wahyudi, "Analisis Kestabilan Transient dan Pelepasan Beban saat terjadi Gangguan pada Pembangkit di PTPN X (Persero) PG. Ngadiredjo Kediri," *J. Tek. Elektro*, vol. 07, no. 2, pp. 113–120, 2018.
- [6] P. S. Suwarno, "Penentuan Pelepasan Beban Pada PT. Inalum Asahan Saat Penurunan Frekuensi," pp. 435–440, 2008.
- [7] A. Herawati, Rinda Apriliani, Irnanda Priyadi, Ika Novia Anggraini, Yuli Rodiah, and Nilda Tri Putri, "Analisis Pelepasan Beban Sistem Jaringan Bengkulu dengan Penambahan PLTU Teluk Sepang 2x100 MW," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 13, no. 1, pp. 18–24, 2023, doi: 10.33369/jamplifier.v13i1.27361.
- [8] H. Marta yudha, "Rele proteksi: Prinsip dan Aplikasi," *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Sriwij.*, pp. 1–241, 2008.
- [9] M. Muhtar, "Analisis Pelepasan Beban Menggunakan Under Frequency Relay pada Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Palopo," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 54–62, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i1.194.
- [10] Muntaha, Ahmad, et al. "Simulasi Perbaikan Drop Tegangan Dan Susut Pada Gardu Induk Alas Dengan Penambahan Kapasitor Bank." *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks)* 7.2 (2025): 516-525.
- [11] T. V. B. Karo, J. Windarta, and M. Facta, "Analisis Pelepasan Beban (Load Shedding) Menggunakan Under Frequency Relay Pada Pembangkitan Tanjung Jati B Jepara," *Transient*, vol. 7, no. 1, p. 138, 2018, doi: 10.14710/transient.7.1.138-144.
- [12] V. Z. Corina, Juningtyastuti, and M. Facta, "Analisis kestabilan frekuensi pada mekanisme pelepasan beban manual di sub sistem kelistrikan Tanjung Jati," *Transient*, vol. 5, no. 4, 2016.
- [13] R. Dicky, "Analisis Load Shedding Pada Sistem Kelistrikan Bali Akibat Lepasnya Kabel Laut Jawa-Bali 150 KV," *ITN Malang*, pp. 1–11, 2018.
- [14] A. E. Saputra, "Analisis Stabilitas Transien Respon Frekuensi Dengan Skema Pelepasan Beban (Load Shedding) Di Pt . Petrochina International Jabung Ltd . Mode Bcd3 Akibat Lepasnya," *J. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 4, no. 3, 2015.

- [15] Darmana, Ija. "Perbaikan jatuh tegangan dengan pemasangan automatic voltage regulator." *Jurnal Ipteks Terapan* 8.4 (2014): 242-251.
- [16] A. Sofwan and I. Aditya, "Analisa Pelepasan Beban Oleh Under Frequency Relay Berbasis Simulasi Pada Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali," *Sinusoida*, vol. 24, no. 2, pp. 38–46, 2022, doi: 10.37277/s.v24i2.1466.
- [17] Noviyani, Erni. "Studi Pelepasan Beban Pada Skema Pertahanan (Defence Scheme) Sistem Jaringan Khatulistiwa." *Pontianak. Universitas Tanjung Pura* (2016).
- [18] L. Liliana, "Simulasi Dinamika dan Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik dengan Menggunakan Power System Stabilizer (PSS) (Aplikasi Pada Sistem 11 Bus IEEE)," *J. Sains dan Teknol. Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 29–35, 2014.
- [19] Jumadi and J. M. Tambunan, "Analisis Pengaruh Jenis Beban Listrik Terhadap Kinerja Pemutus Daya Listrik Di Gedung Cyber Jakarta," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 108–117, 2020.
- [20] Nugraheni, Ari, and R. Setiabudy. "Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik." 2023