

Analisis Kestabilan Transien Akibat Penambahan Generator di Pabrik Gula

Rohmanita Duanaputri^{*a)}, Muhammad Fahmi Hakim^{a)}, Reyhan Aulia Rachman^{a)}, Nuha Nadhiroh^{b)}

(Artikel diterima: Mei 2023, direvisi: Juni 2023)

Abstract: The Assembagoes sugar factory has a production capacity of 3000 TCD and was revitalized in 2015, increasing the capacity to 6000 TCD. With the increase in production capacity, the supply of electrical energy, which had previously only come from one generator unit, was supplemented with one new 13 MW generator unit, increasing the total generation capacity to 23 MW. With this addition, the operation pattern of the electrical system changes, and the problem of system stability becomes one of the primary concerns that must be analyzed with improvements to the Assembagoes sugar factory's electrical system. The goal of this research is to determine the system's frequency and voltage response when a brief stability disturbance occurs.

Keywords : ETAP 12.6, Frequency, Load Shedding, Stability, Transient, Voltage

1. Pendahuluan

Gangguan besar secara tiba-tiba, seperti pemutusan saluran (CB) secara tiba-tiba, hubung singkat, dan perubahan beban secara tiba-tiba, dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem tenaga listrik karena peningkatan konsumsi listrik membutuhkan input tambahan ke jaringan listrik [1, 2, 3, 4, 5]. Jaringan listrik adalah sistem yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban, yang bekerja sama untuk memenuhi kebutuhan listrik pelanggan [6, 7, 8]. Kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan keadaan sinkron selama dan setelah gangguan sistem adalah definisi umum dari stabilitas sistem tenaga [5][6]. Stabilitas sistem tenaga dibagi menjadi tiga kategori: stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi, dan stabilitas tegangan, menurut klasifikasi yang diberikan oleh IEEE Transactions On Power Systems [9].

Peningkatan konsumsi energi listrik juga dialami oleh Pabrik Gula Asembagus. Kapasitas produksi Pabrik Gula Assembagoes awalnya 3000 TCD dan pada tahun 2015 meningkat menjadi 6000 TCD. Hal ini mengakibatkan suplai mengalami penambahan. Semula dilengkapi dengan pembangkit PLTBm (biomassa) 10MW, menjadi dua unit dengan tambahan satu unit pembangkit 13MW untuk mendukung operasi produksi, sehingga total kapasitas produksi menjadi 23MW. Pengoperasian jaringan listrik akan dipengaruhi oleh penambahan unit dengan pembangkit 13 MW. Oleh karena itu, analisis tambahan tentang stabilitas transien dan jadwal pengisian beban diperlukan untuk mengetahui respons sistem dan melindungi sistem dari perubahan sistem kelistrikan yang tidak terduga di Pabrik Gula Assembagoes.

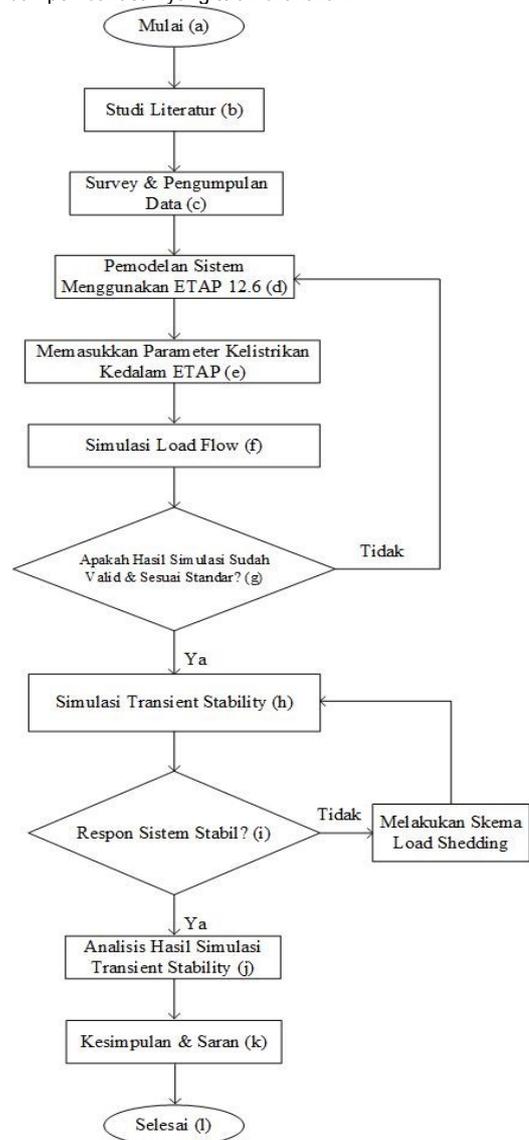
2. Metode Penelitian

Dalam pengerjaan penelitian ini, dilakukan melalui proses-proses dibawah ini yaitu:

1. Survey dan Pengambilan Data
Survey dan pengambilan data dilakukan di pembangkit listrik tenaga Biomassa (PLTBm) yang terletak di pabrik gula Assembagoes.
2. Pemodelan Sistem dan Memasukkan Nilai Parameter
Pemodelan sistem pada penelitian ini dilakukan dengan software ETAP 12.6 dengan memasukkan nilai parameter kelistrikan yang telah didapat dalam pengambilan data.
3. Simulasi
Menjalankan simulasi *transient stability* dengan melihat respon tegangan dan frekuensi sistem. Apabila respon sistem tidak stabil maka dilakukan pelepasan beban tiga langkah.

4. Analisa Dan Kesimpulan

Membuat analisis hasil simulasi *transient stability* dan kesimpulan dari pembahasan yang telah dilakukan.



Gambar 2.1 Flowchart pengerjaan penelitian

*Korespondensi: rohmanitar@polinema.ac.id

a) Program Studi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

b) Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

2.1 Load Shedding / Pelepasan Beban

Untuk menyeimbangkan daya input generator dengan daya yang dibutuhkan oleh beban, memastikan operasi unit generator, dan menghindari atau mencegah pemadaman total, tindakan pelepasan beban dapat dilakukan secara manual atau otomatis [10, 11, 12]. Dalam desain, beban dapat dikategorikan berdasarkan apakah dilepaskan atau tidak, atau apakah itu penting atau kurang penting. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987, pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah diperlukan. Skema pelepasan beban tiga langkah dapat ditemukan di tabel berikut.

Tabel 2.1 Skema Load Shedding 3 Langkah

Step	Freq. Trip Point (Hz)	Percent of Load Shedding (%)	Fixed Time Delay (Cycle) On Relay
1	49,41	10	6
2	49,08	15	6
3	48,75	Disarankan untuk menangkap penurunan sebelum 48,75 Hz	

2.2 Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)

ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) adalah program perangkat lunak untuk simulasi sistem kelistrikan. ANSI dan IEC adalah standar untuk analisis kelistrikan, dan perbedaan utama mereka adalah frekuensi yang digunakan, yang menyebabkan hardware yang berbeda untuk frekuensi tersebut [13, 14, 15].

3. Hasil & Pembahasan

3.1 Simulasi Aliran Daya Sebelum Penambahan Unit Generator 13 MW

Tabel 3.1 General Info Load Flow Analyzer Kondisi 1

Load-MW	Load-Mvar	Gen-MW	Gen-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar
11,197	4,012	11,197	4,012	0,144	0,428

Pada Tabel 3.1 dapat diketahui analisis aliran daya hasil simulasi pada kondisi pertama, yaitu sebelum penambahan unit generator 13 MW.

Tabel 3.2 Informasi Pembangkitan Berdasarkan Simulasi 1

ID	Rating	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Gen
Gen1	10 MW	11	9,065	2,89	499,4	95,28	90,7
PLN	4,33 MVA	20	2,132	1,122	69,55	88,49	

Tabel 3.2 berisi data produksi berdasarkan simulasi 1, dimana pada simulasi ini utilisasi pembangkit 10 MW adalah 90,7%. Kondisi tersebut tergolong Berbahaya karena melebihi batas beban normal genset sebesar 70%.

3.2 Simulasi Aliran Daya Setelah Penambahan Unit Generator 13 MW

Tabel 3.3 General Info Load Flow Analyzer Kondisi 2

Load-MW	Load-Mvar	Gen-MW	Gen-Mvar	Loss-MW	Loss-Mvar
11,201	4,044	11,201	4,044	0,157	0,463

Pada Tabel 3.3 dapat diketahui analisis aliran daya hasil simulasi pada kondisi pertama, yaitu setelah penambahan unit generator 13 MW.

Tabel 3.4 Informasi Pembangkitan Berdasarkan Simulasi 2

ID	Rating	Rated kV	MW	Mvar	Amp	% PF	% Gen
Gen 1	10 MW	11	6,204	2,798	357,2	91,16	62
Gen 2	13 MW	11	4,677	1,089	252,1	97,4	36
PLN	4,33 MVA	20	0,319	0,157	10,28	89,69	

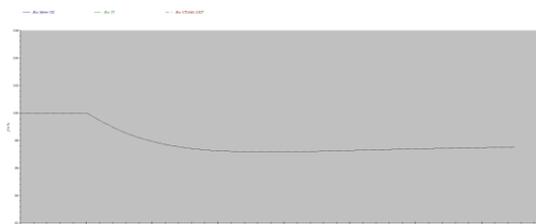
Tabel 3.4 berisi data produksi berdasarkan simulasi 2, dimana pada simulasi tersebut beban generator 10 MW adalah 36% dari beban generator 62,13 MW. Kondisi tersebut masuk dalam kategori aman karena kedua genset beroperasi dalam batas beban standar genset, yaitu kurang dari 70%.

3.3 Studi Kasus Stabilitas Transien

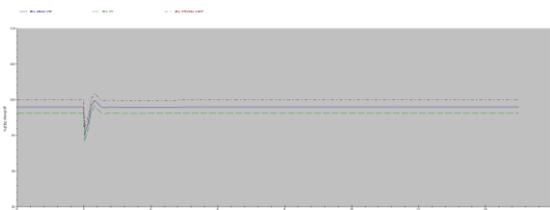
Dalam simulasi ini, analisis stabilitas transien dilakukan akibat matinya generator, hubung singkat dan start mesin. Di bawah ini adalah studi kasus yang dilakukan, yakni:

1. Studi kasus 1a : generator 10 MW off.
2. Studi kasus 1b : generator 13 MW off.
3. Studi kasus 2a : terjadi *short circuit* pada bus Motor Inline Shredder.
4. Studi kasus 2b : terjadi *short circuit* pada bus Motor CK.
5. Studi kasus 2c : terjadi *short circuit* pada bus T4.
6. Studi kasus 3a : dilakukan *starting* Motor Inline Shredder 2000 kW sebelum penambahan generator 13MW.
7. Studi kasus 3b : dilakukan *starting* motor inline shredder 2000 kW sesudah penambahan generator 13MW.

3.4 Studi Kasus 1a Generator 10 MW OFF



Gambar 3.1 Respon Frekuensi Studi Kasus 1a

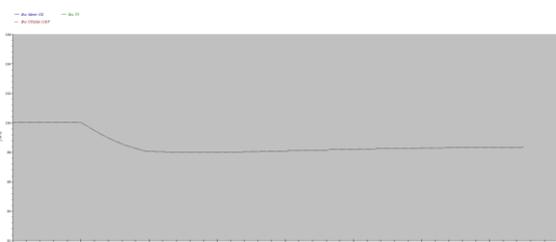


Gambar 3.2 Respon Tegangan Saat Studi Kasus 1a

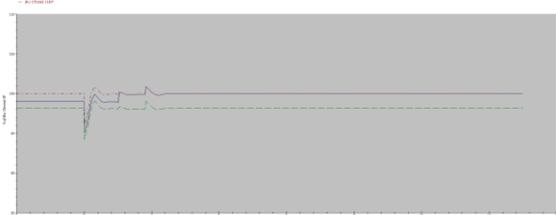
Gambar 3.1 menunjukkan respon frekuensi sistem turun menjadi 48,67 Hz dalam waktu 5,5 detik kemudian secara perlahan kembali ke 48,78 Hz dalam waktu 10 detik.

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa respon tegangan mengalami penurunan level tegangan pada masing-masing bus dengan level tegangan yang berbeda. Tegangan turun menjadi 94,23% atau 0,377 kV pada bus T3 dan memuncak pada 100,9% atau 11,099 kV pada bus 11 kV utama.

3.5 Studi Kasus 1a Generator 10 MW OFF Diikuti Skema Load Shedding Lama 3 Tahap



Gambar 3.3 Respon Frekuensi Studi Kasus 1a + Load Shedding Lama 3 Tahap



Gambar 3.4 Respon Tegangan Studi Kasus 1a + Load Shedding Lama 3 Tahap

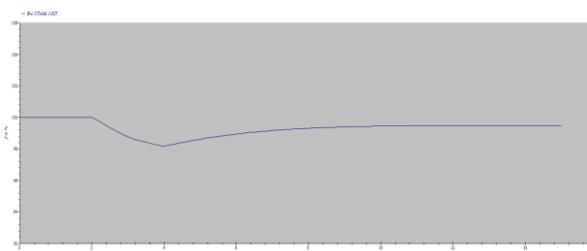
Gambar 3.3 menunjukkan respon frekuensi sistem turun menjadi 48,99 Hz dalam waktu 5,5 detik kemudian secara perlahan kembali ke 49,18 Hz dalam waktu 15 detik.

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa respon tegangan mengalami penurunan level tegangan pada masing-masing bus dengan level tegangan yang berbeda. Tegangan turun menjadi 94,25% atau 0,377 kV, tergantung pada bus T3, dan mencapai nilai tertinggi 100,9% atau 11,099 kV, seperti yang ditunjukkan pada bus utama 11 kV.

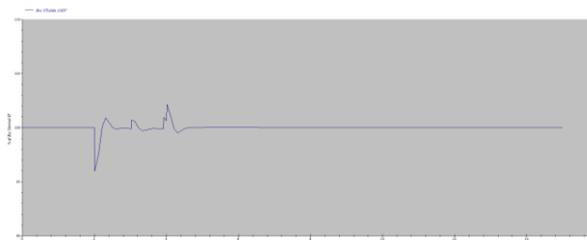
3.6 Studi Kasus 1a Generator 10 MW OFF Diikuti Skema Load Shedding Baru 3 Tahap

Gambar 3.5 berikut menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem turun menjadi 49,09 Hz dalam waktu 4 detik kemudian secara perlahan kembali ke 49,72 Hz dalam waktu 10 detik.

Gambar 3.7 menunjukkan respon tegangan turun menjadi 10,558 kV dan mencapai nilai tertinggi 11,237 kV seperti yang terlihat pada bus utama 11 kV.

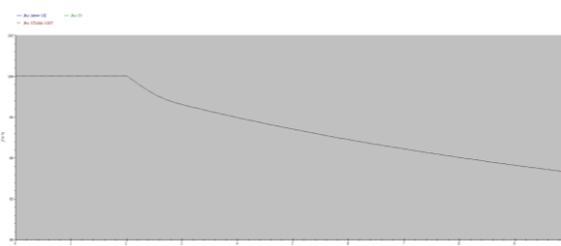


Gambar 3.5 Respon Frekuensi Studi Kasus 1a + Load Shedding Baru 3 Tahap

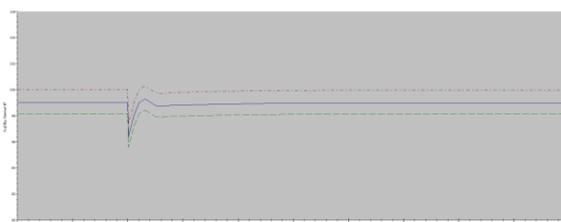


Gambar 3.6 Respon Tegangan Studi Kasus 1a + Load Shedding Baru 3 Tahap

3.7 Studi Kasus 1b Generator 13 MW OFF



Gambar 3.7 Respon Frekuensi Studi Kasus 1b



Gambar 3.8 Respon Tegangan Studi Kasus 1b

Gambar 3.7 menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem turun menjadi 44,12 Hz dalam waktu 10 detik sehingga nilai frekuensi terus menurun.

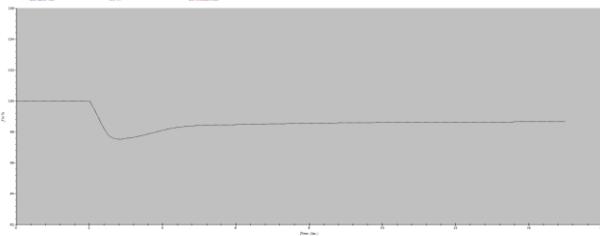
Gambar 3.8 menunjukkan bahwa respon tegangan mengalami penurunan level tegangan pada masing-masing bus dengan level tegangan yang berbeda. Tegangan turun menjadi 95,57% atau 0,382 kV di sepanjang bus T3 dan mencapai nilai tertinggi 100,28% atau 11,03 kV seperti yang terlihat pada bus utama 11 kV.

3.8 Studi Kasus 1b Generator 13 MW OFF Diikuti Skema Load Shedding Lama 3 Tahap

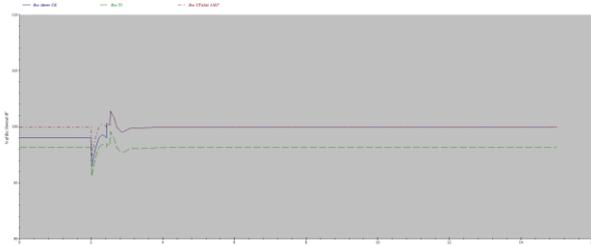
Gambar 3.9 menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem turun menjadi 48,78 Hz dalam waktu 2,7 detik kemudian secara perlahan kembali ke 49,33 Hz dalam waktu 15 detik.

Gambar 3.10 menunjukkan respon tegangan turun menjadi 10,709 kV dan mencapai nilai tertinggi 11,154 kV seperti yang

terlihat pada bus utama 11 kV.

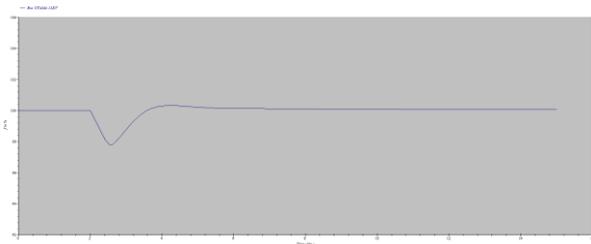


Gambar 3.9 Respon Frekuensi Studi Kasus 1b + Load Shedding Lama 3 Tahap

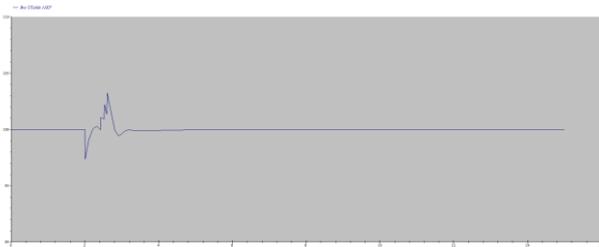


Gambar 3.10 Respon Tegangan Studi Kasus 1b + Load Shedding Lama 3 Tahap

3.9 Studi Kasus 1b Generator 13 MW OFF Diikuti Skema Load Shedding Baru 3 Tahap



Gambar 3.11 Respon Frekuensi Studi Kasus 1b + Load Shedding Baru 3 Tahap



Gambar 3.12 Respon Tegangan Studi Kasus 1b + Load Shedding Baru 3 Tahap

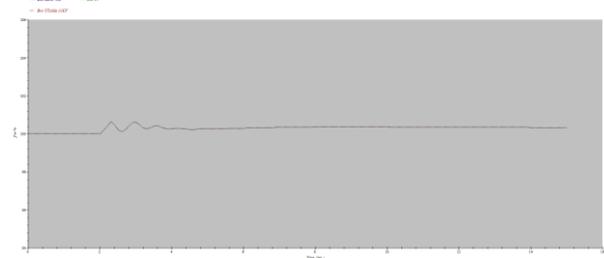
Gambar 3.11 menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem turun menjadi 48,89 Hz dalam waktu 2,6 detik dan kemudian secara perlahan kembali ke 50,16 Hz dalam waktu 4,3 detik.

Gambar 3.12 menunjukkan respon tegangan turun menjadi 10,709 kV dan sepanjang bus 11 kV utama mencapai nilai maksimum sebesar 11,356 kV.

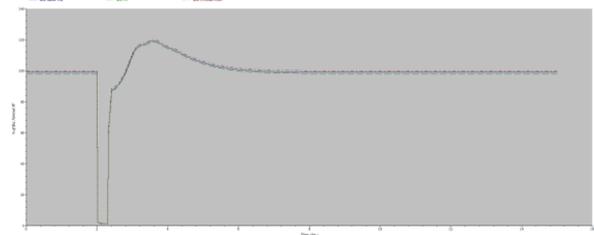
3.10 Studi Kasus 2a Short Circuit Bus Motor Inline Shredder 2000 kW

Gambar 3.13 menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem beresilasi selama 2,1 detik hingga mencapai nilai maksimumnya pada 50,32 Hz dan frekuensi dibiarkan kembali ke keadaan stabil 50,17 Hz.

Gambar 3.14 menunjukkan respon tegangan turun menjadi 0,255 kV dan mencapai nilai tertinggi 13,227 kV seperti yang terlihat pada bus utama 11 kV. Tegangan kembali ke nilai stabil 100,1% dalam 5,8 detik.

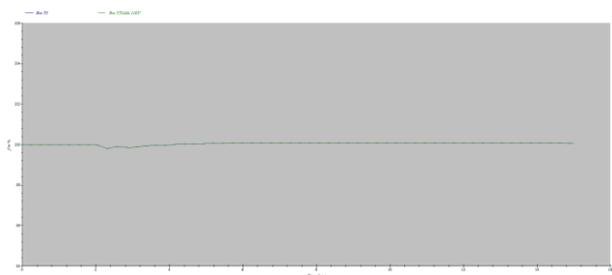


Gambar 3.13 Respon Frekuensi Studi Kasus 2a

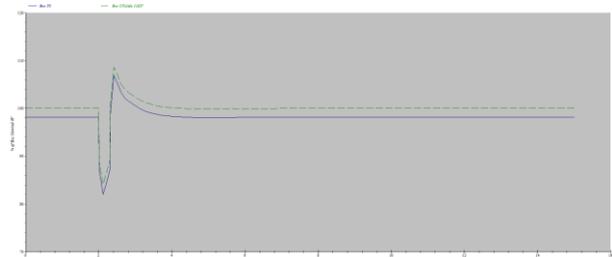


Gambar 3.14 Respon Tegangan Studi Kasus 2a

3.11 Studi Kasus 2b Short Circuit Bus Motor CK 3,15 kV



Gambar 3.15 Respon Frekuensi Studi Kasus 2b



Gambar 3.16 Respon Tegangan Studi Kasus 2b

Gambar 3.15 menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem turun menjadi 49,90 Hz selama 1,5 detik kemudian secara perlahan kembali ke 50,03 Hz.

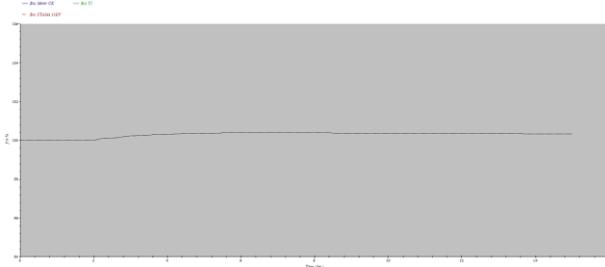
Gambar 3.16 menunjukkan respon tegangan turun menjadi 9,252 kV dan memuncak pada 11,949 kV seperti yang terlihat pada bus utama 11 kV.

3.12 Studi Kasus 2c Short Circuit Bus T3 0,4 kV

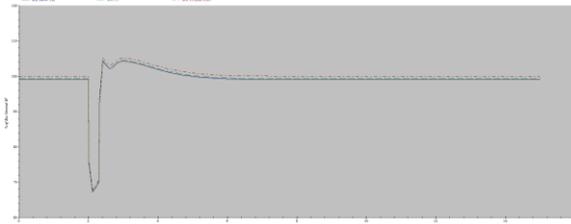
Gambar 3.17 menunjukkan respon frekuensi sistem turun menjadi 50,17 Hz selama 1,4 detik dan berlanjut hingga akhir waktu simulasi.

Gambar 3.18 menunjukkan respon tegangan turun menjadi 7,469 kV dan memuncak pada 11,567 kV seperti yang terlihat pada bus utama 11 kV.

bus utama 11 kV. Nilai 100% memungkinkan sistem untuk kembali ke kondisi mapan yang stabil.

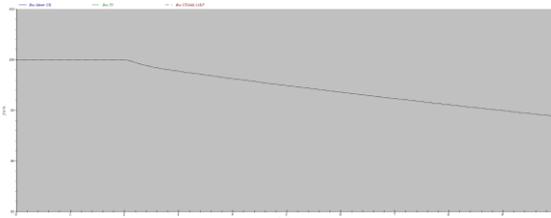


Gambar 3.17 Respon Frekuensi Studi Kasus 2c

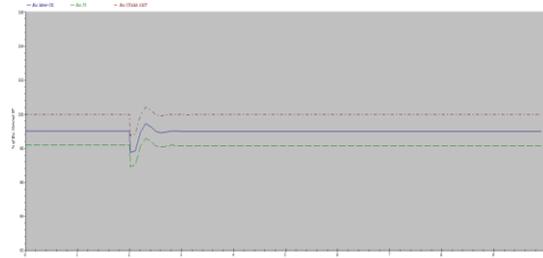


Gambar 3.18 Respon Tegangan Studi Kasus 2c

3.13 Studi Kasus 3a Motor Inline Shredder 2000 kW starting kondisi sebelum penambahan unit generator 13 MW



Gambar 3.19 Respon Frekuensi Studi Kasus 3a

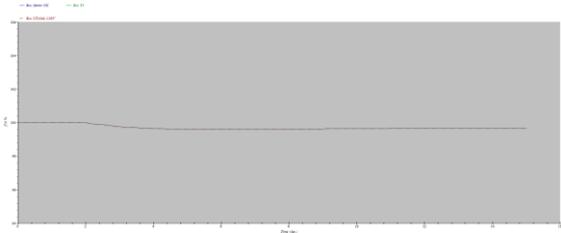


Gambar 3.20 Respon Tegangan Saat Studi Kasus 3a

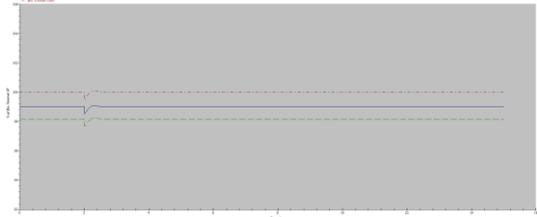
Gambar 3.19 menunjukkan respon frekuensi sistem mengalami penurunan menjadi 41,81 Hz dan akan terus menurun hingga simulasi selesai. Gambar 3.20 menunjukkan bahwa pada tegangan nominal 11 kV respon tegangan turun menjadi 10,86 kV dalam waktu 0,010 detik setelah menjalankan simulasi dan kemudian meningkat menjadi 11,045 kV dalam waktu 2,3 detik.

3.14 Studi Kasus 3b Motor Inline Shredder 2000 KW starting kondisi setelah penambahan unit generator 13 MW

Gambar 3.21 menunjukkan bahwa respon frekuensi sistem menurun menjadi 49,8 Hz pada detik ke-5 dan kemudian secara perlahan kembali ke keadaan stabil pada 49,83 Hz pada detik ke-15. Gambar 3.22 menunjukkan bahwa pada tegangan nominal 11 kV respon tegangan menurun menjadi 10,945 kV dalam waktu 0,010 detik setelah menjalankan simulasi, kemudian meningkat menjadi 11,004 kV dalam waktu 2,3 detik.



Gambar 3.21 Respon Frekuensi Studi Kasus 3b



Gambar 3.22 Respon Tegangan Studi Kasus 3b

3.15 Perbaikan Skema Load Shedding Sistem Kelistrikan PG Assembagoes

Berdasarkan hasil simulasi studi kasus 1a, 1b, dan 3a, dapat dianalisa bahwa penerapan skema load shedding lama tiga tahap tidak mampu mengembalikan sistem ke kondisi stabil. Oleh karena itu, rencana pelepasan beban harus diubah sehingga beban dapat dilepas sesuai dengan prosedur produksi yang ada di pabrik gula Assembagoes.

4. Kesimpulan

Setelah penambahan unit generator berkapasitas 13 MW, dapat disimpulkan bahwa generator 1 dibebani hingga 90,6% sebelum penambahan, melebihi batas pembebanan generator 60%–70%. Setelah penambahan unit generator berkapasitas 13 MW, pola operasi pembebanan generator dibagi menjadi 62% untuk generator 1 dan 36% untuk generator 2. Dengan demikian, pola operasi pembebanan generator di PG Assembagoes berada dalam batas yang dapat diterima. Pada kasus 1a dan 1b, pelepasan generator menyebabkan kondisi sistem tidak stabil. Pada studi kasus 2 dan 3, frekuensi dan tegangan sistem tetap berada di bawah standar operasi normal, yaitu 49,5 Hz hingga 50,5 Hz.

Daftar Pustaka

- [1] M Arzandhy, B. A., Pujiantara, M., & Fahmi, D, "Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Di PT. Pusri Akibat Penambahan Generator dan Penambahan Beban", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 6, no. 1, 2017
- [2] Grigsby, Leonard., "Power System Stability and Control, 3rd edition", CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012.
- [3] Hafidz, I. (2019). Analisis Kestabilan Transien pada Project Pelabuhan Kontainer Pakistan Transient Stability Analysis in Pakistan Deep Water Container Port.
- [4] Wijaya Kusuma, Ruwah Joto, and Mochammad Mieftah, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) ULP Batu", *elposys*, vol. 9, no. 3, pp. 188–193, Feb. 2023
- [5] Rhezal Agung, Naufal Ramadhani Akbar, and Sapto Wibowo, "Perencanaan dan Implementasi Inverter Satu Fasa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pihidro di Air Terjun Watu

- Lumpang Mojokerto”, *elposys*, vol. 9, no. 3, pp. 108–114, Oct. 2022
- [6] Suripto, S. (2016). Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 1–4.
- [7] Muhammad Fahmi Hakim, Slamet Nurhadi, Hanifiyah Darna Fidya Amaral, and Satria Luthfi Hermawan, “Kapasitor Shunt Sebagai Korektor Tegangan Bus di Gardu Induk”, *elposys*, vol. 10, no. 1, pp. 30–35, Mar. 2023.
- [8] Slamet Nurhadi, Muhammad Fahmi Hakim, and Ruwah Joto, “Upaya Peningkatan Keandalan Penyulang dengan Manuver Jaringan”, *elposys*, vol. 10, no. 1, pp. 88–93, Mar. 2023.
- [9] Atma, D., Sari, N., Trihasto, A., & Pravitasari, D. (2021). *Stabilitas Transien Pada Generator Kapasitas 315 Mw Akibat Variasi Beban*.
- [10] David Firdaus, dkk, 2016. Simulasi dan Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2 (2016) ISSN: 2337-3539
- [11] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “ Definition and Classification of Power System Stability “, IEEE Trans On Power Systems, Vol. 19, No. 2, May 2004.
- [12] Satria, M. H. (2017). Analisis Kestabilan Frekuensi dan Tegangan Sistem Tenaga Listrik PT Aneka Tambang (Persero) TBK UBPN Sulawesi Tenggara: Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makasar.
- [13] Thaha, S., Idris, A. R., & Nurjannah, N. (2021). Analisis Pelepasan Beban (Load Shedding) Menggunakan Under Frequency Relay (UFR) Pada Gardu Induk Panakkukang. In Prosiding Seminar Nasional NCIET (Vol. 2, No. 1, pp. 169-175).
- [14] Lesnanto, M., & Aridani, R. P. (2013). Modul Pelatihan ETAP. Jurusan Teknik Eektro Dan Teknologi Informasi; Uniiversitas Gadjah Mada, 58.
- [15] U. F. Al-afifi, “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan ETAP 12.6”, *SainETIn*, vol. 6, no. 1, pp. 16-22, Dec. 2021.