

ANALISIS PELEPASAN BEBAN (*LOAD SHEDDING*) MENGGUNAKAN *UNDER FREQUENCY RELAY* (UFR) PADA SISTEM KELISTRIKAN TAMBORA

LOAD RELEASE ANALYSIS (LOAD SHEDDING) USE UNDER FREQUENCY RELAY (UFR) ON THE TAMBORA ELECTRICAL SYSTEM

Jenalt^{1*}, Ahmad Jaya², Desi Maulidyawati³, Indra Darmawan⁴

^{1,2,3,4}Teknik Elektro Fakultas Rekayasa Sistem Universitas Teknologi Sumbawa

jenaltfk724@gmail.com^{1*}, ahmad.jaya@uts.ac.id², desi.maulidyawati@uts.ac.id³, indra.darmawan@uts.ac.id⁴

INFO ARTIKEL

Submitted: 28 Juni 2023

Revised: 27 Juli 2023

Accepted: 31 Juli 2023

ABSTRAK

Gangguan kelistrikan dapat menyebabkan penurunan frekuensi yang berimbas pada kegagalan unit-unit pembangkit secara berurutan sehingga mengakibatkan kegagalan sistem total. Penelitian ini ditujukan untuk mempertahankan frekuensi dengan melakukan pelepasan beban secara bertahap agar tidak terjadi gangguan sistem yang lebih luas. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif eksperimen dan analisis data dilakukan dengan perhitungan. Didapatkan laju penurunan frekuensi (df/dt) PLTMG Sumbawa unit 3 suplai daya 7,5 MW sebesar $-0,23395415$ Hz/detik dan melakukan pelepasan beban *eksisting* sebesar 7,53 MW saat mencapai UFR tahap 1 $49,2 \approx 49,1922239$ Hz, ketika suplai daya 15 MW laju penurunan frekuensi (df/dt) sebesar $-0,536020905$ Hz/detik dan melakukan pelepasan beban *eksisting* sebesar 15,41 MW saat mencapai UFR tahap 1 $49,2 \approx 49,19473508$ Hz sebesar 7,53 MW dan saat mencapai UFR tahap 2 $49,0 \approx 48,99382761$ Hz sebesar 7,61 MW, kemudian melakukan pelepasan beban alternatif sebesar 17,76 MW saat mencapai UFR tahap 1 $49,2 \approx 49,19473508$ Hz sebesar 7,53 MW dan saat mencapai UFR tahap 2 $49,0 \approx 48,99382761$ Hz sebesar 10,23 MW.

Kata Kunci: PLTMG Sumbawa, Laju Penurunan Frekuensi, Pelepasan Beban, Under Frequency Relay (UFR)

ABSTRACT

Electrical disturbances can cause a decrease in frequency which results in the failure of successive generating units resulting in total system failure. This research is aimed at maintaining the frequency by gradually releasing the load so that wider system disturbances do not occur. The method used is a quantitative experimental method and data analysis is done by calculation. The frequency reduction rate (df/s) of the Sumbawa PLTMG unit 3 obtained a 7.5 MW power supply of -0.23395415 Hz/sec and carried out load shedding exist of 7.53MW when it reaches UFR stage 1 $49.2 \approx 49.1922239$ Hz, when the power supply is 15 MW the frequency drop rate (df/s) is -0.536020905 Hz/sec and perform load shedding exist of 15.41MW when reaching UFR stage 1 $49.2 \approx 49.19473508$ Hz of 7.53 MW and when reaching UFR stage 2 $49.0 \approx 48.99382761$ Hz of 7.61 MW, then carry out alternative load

1. PENDAHULUAN

Kondisi sistem kelistrikan Tambora yang ada di Pulau Sumbawa berkembang sangat pesat, hal ini dapat dilihat dari kondisi daya mampu salah satu pembangkit yang terbesar pada tahun 2017 berada di PLTU Sumbawa Barat yaitu PLTU Unit 1 dan Unit 2 sebesar 14 MW. Untuk kondisi saat ini pembangkit terbesar berada di PLTMG Sumbawa yaitu PLTMG Unit 1, Unit 2 dan Unit 3 dengan daya mampu sebesar 50 MW. Melihat banyaknya variasi jenis pembangkit yang ada di sistem kelistrikan Tambora seperti PLTU, PLTD, PLTMG, PLTMH yang memasok kebutuhan listrik, maka diperlukan antisipasi apabila ada salah satu unit pembangkit terbesar mengalami *trip* akibat gangguan[1][2][3]. Peralatan proteksi digunakan untuk melindungi kestabilan frekuensi, dimana peralatan proteksi yang berfungsi untuk membaca penurunan frekuensi adalah relai frekuensi[4][5]. Relai frekuensi akan bekerja jika frekuensi sistem berada diluar rentang nilai yang telah diatur sebelumnya[6][7]. Jenis relai yang digunakan dalam melakukan pelepasan beban ini adalah relai frekuensi kurang/Under Frequency Relay (UFR)[8]. UFR ini diharapkan mampu menjaga kestabilan frekuensi sistem akibat adanya pembangkit *trip* karena gangguan dengan melakukan pelepasan beban secara bertahap[9][10].

Apriadi et al. (2017) menyatakan dalam penelitiannya mengenai analisis pelepasan beban saat PLTU Jeranjang *trip* akibat gangguan pada sistem kelistrikan Lombok. Pada penelitian ini disimpulkan semakin besar selisih antara beban yang dilepas dengan besar daya pembangkit yang terganggu, maka perubahan kenaikan frekuensi akan semakin cepat. Besarnya laju penurunan frekuensi saat PLTU Jeranjang *trip* dengan beban 12,5 MW sebesar -0,2233 Hz/det dan mencapai UFR tahap 1 saat frekuensi 49,1 Hz dalam waktu 3,1 detik dan 25 MW sebesar -0,5908 Hz/det dan mencapai UFR tahap 1 49,1 Hz dalam waktu 1,4 detik[11].

Dicky & Wartana (2019) melakukan analisis *load shedding* pada sistem kelistrikan Bali akibat lepasnya kabel Laut Jawa-Bali. Pada kondisi lepasnya SKLT Jawa-Bali 340 MW yang menyuplai 80 MW ke sistem Bali menunjukkan frekuensi turun hingga 48,19 Hz sehingga melakukan pelepasan beban sesuai perhitungan frekuensi dapat kembali naik ke frekuensi yang diperbolehkan pada detik ke 14[12].

Thaha, Sarma. Rosyid (2021) melakukan penelitian terkait analisis pelepasan beban (*load shedding*) menggunakan Under Frequency Relay (UFR) pada gardu induk Panakkukang. Pada penelitian ini didapatkan bahwa penurunan frekuensi sistem gardu induk panakukang diakibatkan lepasnya suplai Line Tello#2. Pelepasan beban menggunakan UFR di pasang di sisi penyulang agar bisa melepas beban secara bertahap. Besarnya penurunan frekuensinya adalah mencapai 48,50 Hz – 48,30 Hz, kemudian frekuensi kembali normal setelah melepaskan beban sebesar 34,90 MW[13].

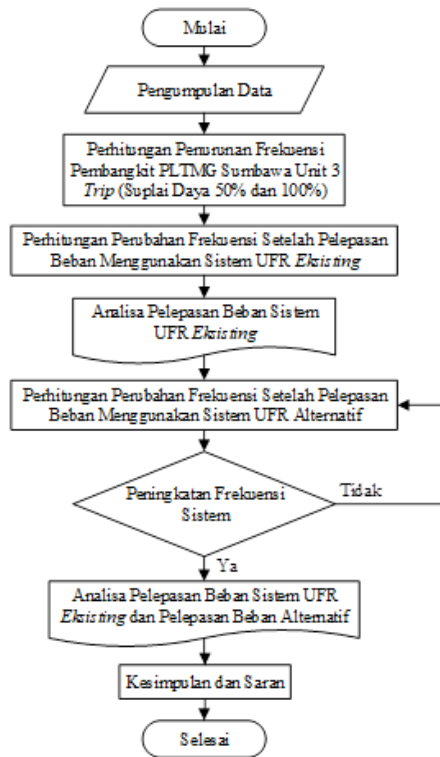
Lingga et al. (2021) melakukan studi pelepasan beban pada PLTU Keramasan saat terjadi penurunan frekuensi. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai frekuensi dan semakin cepat waktu pemulihan maka semakin besar nilai beban yang harus dilepaskan. Namun beban dapat di lepas secara bertahap sehingga beban tidak dilepas secara keseluruhan[14].

Muhtar (2022) melakukan analisis pelepasan beban menggunakan *under frequency relay* pada sistem tenaga listrik Gardu Induk Palopo. Pada saat Gen #Poso 2 lepas 65 MW menyebabkan frekuensi turun hingga 48,5 Hz dan pada saat Gen #1 dan trafo distribusi 1 lepas bersamaan menyebabkan frekuensi turun hingga 49,3 Hz kemudian frekuensi kembali stabil dalam waktu 4 detik setelah melakukan pelepasan beban[15].

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, penelitian ini diharapkan dapat mengetahui besar penurunan frekuensi dan besar pelepasan beban apabila PLTMG Sumbawa *trip* akibat gangguan pada sistem kelistrikan Tambora dengan metode kuantitatif eksperimen, sehingga diharapkan dapat mengetahui besar pelepasan beban terbaik dan waktu pencapaian frekuensi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah pendekatan metode kuantitatif eksperimen. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pelepasan beban dengan menggunakan *setting* UFR yang sudah ada (*eksisting*) untuk mendapatkan besar pelepasan beban yang optimal saat pembangkit PLTMG Sumbawa unit 3 dengan suplai daya 15 MW pada tanggal 13 Januari 2023 *trip* karena gangguan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Hubungan Daya Aktif dan Frekuensi

a. Momen inersia

$$H_{Sistem} = \sum_i^n \left(\frac{H_i G_i}{G_i} \right) \text{ MW-det / MVA atau detik} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- H_i = Momen inersia pembangkit ke i
- G_i = Kapasitas terpasang unit pembangkit ke i
- n = Jumlah n unit pembangkit

b. Perubahan frekuensi karena pembangkit gangguan

Mencari nilai $\frac{df}{dt}$, saat $t_0 = 0 \text{ dtk}$ dan $t_1 = 0,1 \text{ dtk}$:

$$\left(\frac{df}{dt} \right)_{0-1} = - \frac{f_0}{2H} \cdot \frac{P_{s0}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- f_0 = Frekuensi sistem sebelum gangguan (Hz)
- P_{s0} = Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit terganggu (MW)
- P_{GOT} = Total daya yang terpasang pada sistem dari unit-unit pembangkit yang beroperasi sebelum gangguan (MW)
- P_{SOT} = Total daya terpasang dari unit yang mengalami gangguan (MW)

Mencari nilai f_1 :

$$f_1 = f_0 + \left(\frac{df}{dt} \right)_{0-1} \times (t_1 - t_0) \dots\dots\dots(3)$$

Mencari selang waktu berikutnya antara t_1 dan t_2 dengan melakukan perhitungan untuk mencari nilai permulaan dari frekuensi dan selisih daya yang dibangkitkan dengan beban:

$$P_{B1} = \frac{f_1}{f_0} \times P_{B0} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- P_{B0} = Beban sistem sebelum gangguan (MW)
- P_{B1} = Beban sistem setelah gangguan (MW)

Dengan cara yang sama seperti ketika menghitung nilai $\left(\frac{df}{dt} \right)_{0-1}$, maka:

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_{1-2} = \frac{f_1}{2H} \cdot \frac{(P_{G0}-P_{S0})-P_{B1}}{P_{GOT}-P_{SOT}} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

P_{G0} = Besar daya yang dibangkitkan dalam sistem sebelum gangguan (MW)

c. Perubahan frekuensi setelah pelepasan beban

$$\left(\frac{df}{dt}\right)_{1-2} = \frac{f_1}{2H} \cdot \frac{P_{S0}-(P_{S0}-P_{BR})-P_{B1}}{P_{GOT}-P_{DOT}} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

P_{BR} = Besar beban yang dilepas (MW)

P_{DOT} = Penambahan kemampuan pembangkit = besar pelepasan beban (MW)

B. Sistem Kelistrikan Tambora

Tabel 1. Data Pembangkit Sistem Tambora (13 Januari 2023)[1]

No	Pembangkit	Unit	Daya Terpasang (MW)	Daya Aktual (MW)
1	PLTMG SUMBAWA	1	17,7	14,2
2		2	17,7	14,2
3		3	17,7	15
	Total		53,1	43,4
4	PLTU SUMBAWA BARAT	1	0	0
5		2	7	4
	Total		7	4
6	PLTD LABUHAN	SWD Labuhan	0	0
7		Daihatsu Labuhan	0	0
8		Deutz 1 Labuhan	0	0
9		Allen 2 Labuhan	0	0
10		Caterpillar Taliwang	0	0
	Total		0	0
11	PLTMH MAMAK	1	0	0
	Total		0	0
12	PEMBANGKIT SEWA	Cegindo Boak	14	14
13		Sewatama Labuhan	4	4
	Total		18	18
14	PLTMG BIMA	1	17,7	15
15		2	17,7	15
16		3	17,7	15
	Total		53,1	45
17	PLTD BIMA	Nigata Bima	0	0
18		Deutz 1 Bima	0	0
19		Daihatsu Bima	0	0
20		Coskerril 1 Bima	0	0
21		Coskerril 2 Bima	0	0
	Total		0	0
22	PLTD NIU	MAK 1 Niu	0	0
23		MAK 2 Niu	1,9	1,5

		Total	1,9	1,5
24	PLTD DOMPU	SWD Domp	0	0
25		Yanmar 2 Domp	0	0
26		MTU Domp	0	0
		Total	0	0
27	PLTD SAPE	1	0	0
		Total	0	0
28	PEMBANGKIT SEWA BIMA	Sewatama Niu	13	5
			13	5
Total Pembangkit Sistem Tambora			146,1	116,9

Tabel 2. Monitoring UFR Sistem Tambora[3]

No	Tahapan UFR	Frekuensi	Load Shedding (MW)	Penyulang
1	Tahap 1	49,2	7,53	Saka, Hu'u, Penanae, Stober, Poto Batu, Pidang & Buer
2	Tahap 2	49,0	7,61	Muku, Jatibaru, Teluk Santong, Balad & Ai Loang
3		48,7	7,8	Lampe, Kolo, Kencana & Bertong
4	Tahap 3	48,5	13,64	Monta, Ginte, Karara, Cakre, EXP Lape, Alas Barat & EXP Utan
5	Tahap 4	48,0	12,05	Kareke, Bupati, EXP GI – GH Bolo, Nijang & Unter Ketimis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang dilakukan dalam penyusunan skripsi ini untuk mengetahui perubahan frekuensi sistem kelistrikan Tambora saat PLTMG Sumbawa Unit 3 *trip* karena gangguan dengan suplai daya yang dibangkitkan 50% dan 100% pada tanggal 13 Januari 2023 dan mengetahui besar pelepasan beban yang dibutuhkan untuk memperbaiki frekuensi sistem kelistrikan Tambora.

A. Momen Inersia

Berikut perhitungan momen inersia sistem kelistrikan Tambora setelah PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* mengalami gangguan:

$$\begin{aligned}
 H_{Sistem} &= \sum_1^6 \left(\frac{(H_{PS} \times G_{PS}) + (H_{PLTU} \times G_{PLTU}) + (H_S \times G_S) + (H_{PB} \times G_{PB}) + (H_N \times G_N) + (H_{PSB} \times G_{PSB})}{G_{PS} + G_{PLTU} + G_S + G_{PB} + G_N + G_{PSB}} \right) \\
 &= \frac{(6 \times 35,4) + (4 \times 7) + (1,5 \times 18) + (6 \times 53,1) + (1,5 \times 1,9) + (1,5 \times 13)}{35,4 + 7 + 18 + 53,1 + 1,9 + 13} \\
 &= \frac{608,35}{128,4} \\
 &= 4,737928349 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

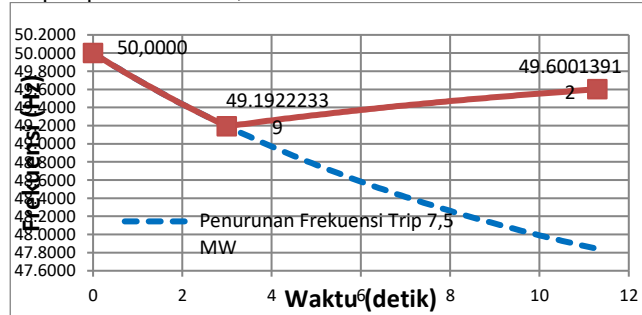
B. Perubahan Frekuensi PLTMG Sumbawa Unit 3 Trip dan Pelepasan Beban (Load Shedding) 7,5 MW (Asumsi)

Tabel 3. Perubahan Frekuensi PLTMG Sumbawa Unit 3 Trip 7,5 MW dan Pelepasan Beban 7,53 MW

Unit Gangguan	Beban (MW)	Setting UFR (Hz)	Load Shedding (MW)	$\frac{df}{dt}$	Frekuensi (Hz)	Waktu (detik)
---------------	------------	------------------	--------------------	-----------------	----------------	---------------

PLTMG	7,5	-	0	-0,23395415	49,19222339	3
SUMBAWA		49,2	7,53	0,034464152	49,60013912	11,3
UNIT 3	Total Load Shedding		7,53			

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus perubahan frekuensi terhadap waktu (df/dt) pertama pada persamaan (2), mencari f_1 menggunakan persamaan (3), mencari selisih daya yang dibangkitkan menggunakan persamaan (4) dan mencari df/dt selanjutnya menggunakan persamaan (5) didapatkan besar penurunan frekuensi sebesar -0,23395415 Hz/detik dan mencapai UFR tahap 1 49,2 Hz $\approx$ 49,19222339 Hz saat $t = 3$ detik, kemudian dilakukan perhitungan pelepasan beban sistem tahap 1 7,53 MW menggunakan rumus pada persamaan (6) didapatkan besar perubahan frekuensi sebesar 0,034464152 Hz/detik dan perhitungan di hentikan saat $t = 11,3$ detik ketika frekuensi mencapai 49,60013912 Hz. Gambar 2 menunjukkan kurva perubahan frekuensi PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* 7,5 MW dan setelah pelepasan beban 7,53 MW.



Gambar 2. Kurva Perubahan Frekuensi Setelah Gangguan PLTMG Sumbawa Unit 3 *Trip* 7,5MW dan Setelah Pelepasan Beban 7,53 MW

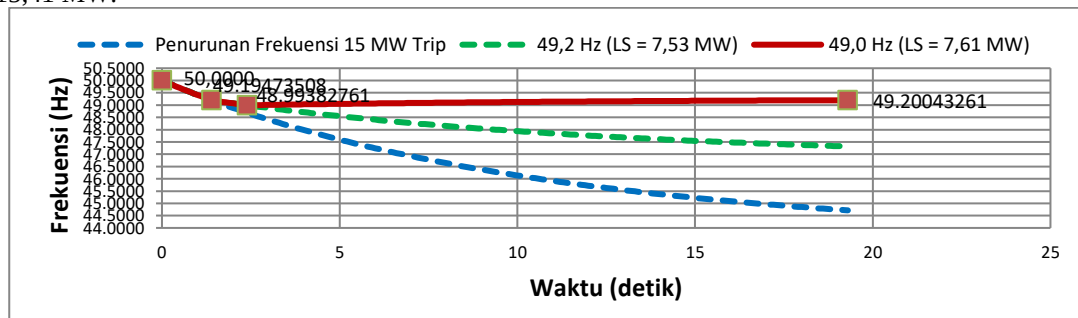
Berdasarkan Gambar 2 frekuensi mengalami penurunan setelah pembangkit mengalami gangguan/*trip* sebesar 7,5 MW dan kembali normal (level aman) setelah melakukan pelepasan beban (*load shedding*) eksisting sebesar 7,53 MW.

C. Perubahan Frekuensi PLTMG Sumbawa Unit 3 *Trip* dan Pelepasan Beban (*Load Shedding*) 15 MW (Eksisting)

Tabel 4. Perubahan Frekuensi PLTMG Sumbawa Unit 3 *Trip* 15 MW dan Pelepasan Beban 15,14 MW

Unit Gangguan	Beban (MW)	Setting UFR (Hz)	Load Shedding (MW)	$\frac{df}{dt}$	Frekuensi (Hz)	Waktu (detik)
PLTMG	15	-	0	-0,536020905	49,19473508	1,4
SUMBAWA		49,2	7,53	-0,192705857	48,99382761	2,4
UNIT 3		49,0	7,61	0,005069404	49,20043261	19,3
	Total Load Shedding		15,14			

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus yang sama seperti pada perhitungan *trip* 7,5 MW didapatkan besar penurunan frekuensi sebesar -0,536020905 Hz/detik dan mencapai UFR tahap 1 49,2 Hz $\approx$ 49,19473508 Hz saat $t = 1,4$ detik, kemudian dilakukan pelepasan beban sistem tahap 1 7,53 MW didapatkan besar perubahan frekuensi sebesar -0,192705857 Hz/detik dan mencapai UFR tahap 2 49,0 Hz $\approx$ 48,99382761 Hz saat $t = 2,4$ detik, setelah pelepasan beban sistem tahap 2 7,61 MW didapatkan besar perubahan frekuensi sebesar 0,005069404 Hz/detik dan perhitungan dihentikan saat $t = 19,3$ detik ketika frekuensi mencapai 49,20043261 Hz. Gambar 3 menunjukkan kurva perubahan frekuensi PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* 15 MW dan setelah pelepasan beban 15,41 MW.



Gambar 3. Kurva Perubahan Frekuensi Setelah Gangguan PLTMG Sumbawa Unit 3 *Trip* 15 MW dan Setelah Pelepasan Beban 15,41 MW

Gambar 3 menunjukkan penurunan frekuensi terjadi setelah pembangkit mengalami gangguan/*trip* sebesar 15 MW dan frekuensi kembali naik setelah melakukan pelepasan beban *eksisting* sebesar 15,41 MW. Pada skema pelepasan beban *eksisting* ini belum optimal mengembalikan frekuensi ke level aman, sehingga dilakukan perhitungan pelepasan beban alternatif.

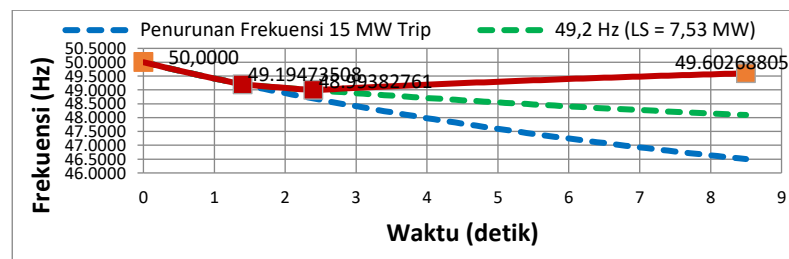
D. Perhitungan Pelepasan Beban (*Load Shedding*) Alternatif

Perhitungan pelepasan beban alternatif ini di fokuskan pada saat PLTMG Sumbawa unit 3 suplai daya maksimal (15 MW). *Setting* UFR tahap 2 (*sett*: 49,0 Hz) dengan pelepasan beban *eksisting* sebesar 7,61 MW belum maksimal mengembalikan frekuensi sistem kembali normal (Gambar 3). Pada perhitungan ini, besar pelepasan beban tahap 2 (*sett*: 49,0 Hz) direncanakan sebesar 10,23 MW dengan menambahkan penyulang Luk sebesar 2,62 MW ke dalam daftar pelepasan beban *eksisting*. Dengan melanjutkan perhitungan pelepasan beban tahap 1 (*sett*: 49,2 Hz) pelepasan beban 7,53 MW.

Tabel 5. Perubahan Frekuensi PLTMG Sumbawa Unit 3 *Trip* 15 MW dan Pelepasan Beban 17,76 MW

Unit Gangguan	Beban (MW)	Setting UFR (Hz)	Load Shedding (MW)	$\frac{df}{dt}$	Frekuensi (Hz)	Waktu (detik)
PLTMG	15	-	0	-0,536020905	49,19473508	1,4
SUMBAWA		49,2	7,53	-0,192705857	48,99382761	2,4
UNIT 3		49,0	10,23	0,074368248	49,60268805	8,5
Total Load Shedding		17,76				

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (6) didapatkan besar perubahan frekuensi sebesar 0,074368248 Hz/detik dan perhitungan dihentikan saat $t = 8,5$ detik ketika mencapai frekuensi 49,60268805 Hz. Gambar 4 menunjukkan kurva perubahan frekuensi PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* 15 MW dan setelah pelepasan beban 17,76 MW.

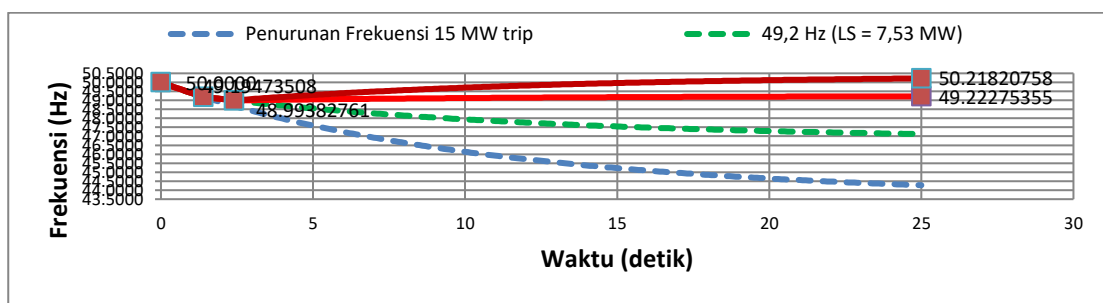


Gambar 4. Kurva Perubahan Frekuensi Setelah Gangguan PLTMG Sumbawa Unit 3 Dengan Suplai Daya 15 MW dan Setelah Pelepasan Beban 17,76 MW

Setelah pembangkit mengalami gangguan/*trip* sebesar 15 MW terjadi penurunan dan setelah melakukan pelepasan beban alternatif sebesar 17,76 MW frekuensi kembali ke level aman (Gambar 4).

E. Pengujian Pencapaian Frekuensi Selama 25 Detik

Pengujian selang waktu 25 detik diambil agar dapat mengetahui pencapaian frekuensi yang dicapai pada sistem UFR *eksisting* dan alternatif. Selang waktu ini dirasakan cukup lama untuk suatu gangguan pada sistem tenaga listrik. Dampak yang mungkin terjadi dalam selang waktu tersebut, dapat menyebabkan beberapa pembangkit kecil lepas beban atau *trip*.

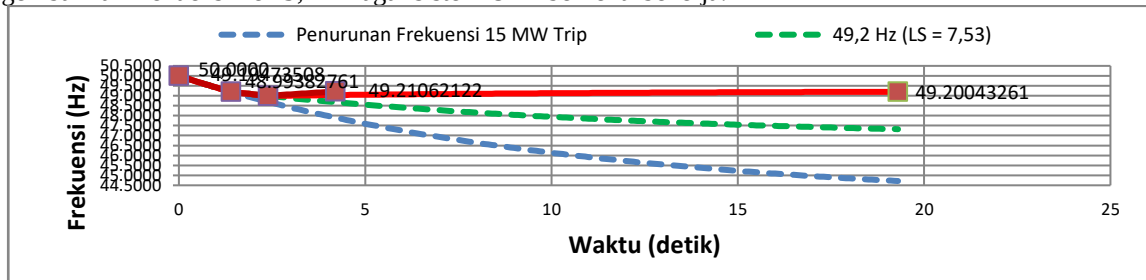


Gambar 5. Kurva Perbandingan Perubahan Frekuensi Setelah Gangguan dan Setelah Pelepasan Beban *Eksisting* dan Alternatif

Setelah dilakukan perhitungan pencapaian frekuensi selama 25 detik, pada skema pelepasan beban *eksisting* frekuensi mencapai 49,22275355 Hz, dan skema pelepasan beban alternatif frekuensi mencapai 50,21820758 Hz (Gambar 5).

F. Pengujian Pencapaian Frekuensi 49,2 Hz

Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat skema pelepasan beban *eksisting* dan alternatif mengembalikan frekuensi ke 49,2 Hz agar sistem UFR berhenti bekerja.



Gambar 6. Kurva Perbandingan Pencapaian Frekuensi 49,2 Hz Skema Pelepasan *Eksisting* dan Alternatif

Kurva perbandingan pada Gambar 6 Setelah dilakukan perhitungan pencapaian frekuensi 49,2 Hz, pada skema pelepasan beban *eksisting* waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan frekuensi selama 19,3 detik dan skema pelepasan beban alternatif selama 4,2 detik.

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

Penurunan frekuensi saat suplai daya 7,5 MW sebesar -0,23395415 Hz/detik, mencapai UFR tahap 1 saat frekuensi 49,2 Hz $\approx$ 49,1922239 Hz dalam waktu 3 detik dan penurunan frekuensi suplai daya 15 MW sebesar -0,536020905 Hz/detik, mencapai UFR tahap 1 49,2 Hz $\approx$ 49,19473508 Hz dalam waktu 1,4 detik. Pada kondisi pelepasan beban saat PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* diperoleh ketika suplai daya 7,5 MW pada sistem UFR *eksisting* sebesar 7,53 MW saat mencapai *setting* UFR tahap 1 49,2 Hz $\approx$ 49,1922239 Hz, saat PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* ketika suplai daya 15 MW pada sistem UFR *eksisting* sebesar 15,41 MW saat mencapai *setting* UFR tahap 1 49,2 Hz $\approx$ 49,19473508 Hz sebesar 7,53 MW dan saat mencapai *setting* UFR tahap 2 49,0 $\approx$ 48,99382761 Hz sebesar 7,61 MW, dan saat PLTMG Sumbawa unit 3 *trip* dengan suplai daya 15 MW pada sistem UFR alternatif sebesar 17,76 MW saat mencapai *setting* UFR tahap 1 49,2 Hz $\approx$ 49,19473508 Hz sebesar 7,53 MW dan saat mencapai *setting* UFR tahap 2 49,0 $\approx$ 48,99382761 Hz sebesar 10,23 MW.

B. Saran

Setiap perubahan yang terjadi pada sistem kelistrikan Tambora, penambahan atau pengurangan pembangkit dan beban sebaiknya di tinjau kembali mengenai skema pelepasan beban, karena frekuensi adalah aspek penting yang harus dijaga dalam suatu sistem tenaga listrik dan diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu panduan dalam melakukan besar pelepasan beban pada sistem kelistrikan Tambora, penelitian ini bisa dikembangkan kembali menggunakan *software* simulasi yang relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero), Rencana Operasi Harian Tanggal 13 Januari 2023. 2023.
- [2] PT PLN (Persero), Single Line Diagram (SLD) Sistem Kelistrikan Sumbawa. 2023.
- [3] PT PLN (Persero), Setting UFR UPK Tambora. 2023.
- [4] A. Hadi and E. Ervianto, "Studi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Relai Frekuensi Kurang Pada Sistem Tenaga Listrik," *JOM FTEKNIK Vol. 3 NO.2 OKTOBER 2016*, vol. 3 NO.2 OKT, pp. 1–7, 2016.
- [5] V. Z. Corina and M. Facta, "Analisis Kestabilan Frekuensi pada Mekanisme Pelepasan Beban Manual di Sub Sistem Kelistrikan Tanjung Jati," vol. 5, no. 4, 2016.
- [6] A. Sultan, "Analisis Kestabilan Frekuensi Pada Sistem SULBAGSEL Dengan Integrasi PLTB," Universitas Hasanuddin, 2018.
- [7] R. Tambunan, Karnoto, and S. Handoko, "Simulasi Pelepasan Beban (Load Shedding) pada Sistem Jaringan Distribusi Tragi Sibolga 150/20 KV (Studi Kasus pada Penyulang Tragi Sibolga, SUMUT)," vol. 3, no. 2, pp. 2302–9927, 2014.

- [8] H. M. Afifah, I., & Sopiany, “Studi Static Under-Frequency Load Shedding Akibat Kondisi Transient Pada Sistem Kelistrikan PT. PETROKIMIA GRESIK,” vol. 87, no. 1,2, pp. 149–200, 2017.
- [9] Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. Jakarta, 2000.
- [10] B. S. K. P, “Studi Analisis UFR (Under Frequency Relay) Pada Gardu Induk Pesanggaran,” vol. 6, no. 2, 2019.
- [11] A. Apriadi, “Analisis Pelepasan Beban Saat PLTU Jeranjang Trip Akibat Gangguan Pada Sistem Kelistrikan Lombok,” Universitas Mataram, 2017.
- [12] R. Dicky and I. M. Wartana, “Analisis Load Shedding Pada Sistem Kelistrikan Bali Akibat Lepasnya Kabel Laut Jawa-Bali 150 Kv,” *Semin. Has. Elektro S1 ITN Malang*, 2018.
- [13] A. I. N. Thaha, Sarma. Rosyid, “Analisis Pelepasan Beban (Load Shedding) Menggunakan Under Frequency Relay (Ufr) Pada Gardu Induk Panakkukang,” *Pros. NCIET*, vol. 2, pp. 55–65, 2021.
- [14] M. Lingga, A. Azis, and I. K. Pebrianti, “Studi Pelepasan Beban Pada PLTU Keramasan Saat Terjadi Penurunan Frekuensi,” *Elektrika*, vol. 13, no. 2, p. 71, 2021.
- [15] 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.