

STUDI ANALISIS UFR (UNDER FREQUENCY RELAY) PADA GARDU INDUK PESANGGARAN

Bhrama Sakti K.P.¹, Ir. A.A. Gede Maharta Pemayun, MT.², Ir. I Gede Dyana Arjana, MT.³
¹²³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : bskarendap@gmail.com¹, maharta@ee.unud.ac.id², dyanaarjana@ee.unud.ac.id³

ABSTRAK

Gangguan sistem tenaga listrik yang terjadi pada pembangkit pesanggaran akibat arus lebih menyebabkan trip pada generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) 3 Pesanggaran. Hal ini menyebabkan penurunan frekuensi akibat sistem kehilangan daya suplai. Gangguan frekuensi dapat dideteksi secara otomatis dengan UFR (*Under Frequency Relay*). Prinsip kerja UFR adalah dengan membandingkan nilai frekuensi sistem dan nilai *setting* frekuensi yang menjadi penentu besar beban yang dilepas. Penelitian ini menganalisis kinerja UFR pada Gardu Induk Pesanggaran dengan mensimulasikan generator trip sehingga menghasilkan keadaan frekuensi sistem menurun. Metode yang digunakan yaitu dengan membandingkan hasil simulasi ETAP dan hasil perhitungan. Hasil dari penelitian didapat waktu pemulihan dalam 3 keadaan masing-masing adalah 1,171s; 4,531s; dan 4,514s.

Kata kunci : UFR, Frekuensi, Gardu Induk, Sistem Tenaga

ABSTRACT

The disruption of the electric power system due to overcurrent causes a trip to the 3rd generator of pesanggaran power plant . This causes a decrease in frequency due to the system losing its supply. Frequency interference can be detected automatically with UFR (Under Frequency Relay). The working principle of UFR is to compare the value of the system frequency and the value of the frequency setting. The comparison will determine how much load is released to balance the generator supply. This study analyzes UFR performance at Pesanggaran Substation by simulating a case of the generator being released so as to produce a decreased system frequency state. The method used is by comparing the ETAP simulation results and calculation results. The results of the comparison obtained the system recovery time when the conditions (gen1 tripped), (gen1 and gen2 tripped), and (gen1, gen2, and gen3 tripped), each is 1.171s; 4,531s; and 4,514s.

Keywords: UFR, Frequency, Substation, Power System

1. PENDAHULUAN

Suatu sistem tenaga listrik memiliki fungsi yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari. Dalam penyediaan energi listrik yang kontinu kepada konsumen, maka pemakaian dan penyediaan daya listrik tentunya harus seimbang. Keseimbangan antara penyediaan dan pemakaian daya listrik sangat berpengaruh kepada naik turunnya frekuensi pada sistem. Bila terjadi gangguan pada sistem yang mengarah kepada kondisi *black out*, maka perlu dilakukan pengoperasian secara terpisah (*island operation*) sehingga unit pembangkit yang direncanakan untuk *pulau operation* dapat beroperasi dengan beban

sebagian, dan memisahkan diri dari sistem yang mengalami gangguan. Hal ini dilakukan agar proses *recovery* sistem lebih cepat dan mencegah terjadinya *Blackout*.

Gangguan kestabilan frekuensi dapat dideteksi secara otomatis melalui frekuensi yang menurun dengan cepat. Salah satu cara menjaga keseimbangan frekuensi sistem adalah dengan menyediakan daya cadangan yang cukup besar dan dengan pelepasan beban otomatis menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*). Prinsip kerja UFR membandingkan *Present Value* (nilai

frekuensi sistem) dan *setting value* (nilai seting frekuensi) yang menghasilkan *output error* yang bertujuan menggerakkan UFR untuk melepas beban [1]. Frekuensi nominal sistem tenaga listrik di Indonesia adalah 50 Hz, rentang frekuensi yang diperbolehkan adalah dari 49,5 Hz atau lebih tinggi dari 50,5 Hz dan selama waktu keadaan darurat (*emergency*) dan gangguan, frekuensi sistem diizinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52 Hz sebelum unit pembangkit diizinkan keluar dari operasi. [2]

Kondisi kelistrikan Bali pada tahun 2015 mencapai 807,6 MW. Kelistrikan Bali mengandalkan pembangkit utamanya yaitu PLTG Gilimanuk 130 MW, PLTG Pamaron dan PLTD swasta pamaron dengan kapasitas 88 MW, kemudian PLTD Pesanggaran dan PLTG Minyak Pesanggaran yang berkapasitas 365 MW, dan PLTU Celukan Bawang dengan kapasitas 380 MW, serta pasokan interkoneksi Jawa Bali Saluran Kabel Laut dengan kapasitas 340 MW. [3]

Suatu sistem tenaga listrik akan mengalami gangguan, salah satu contoh gangguan pada sistem tenaga listrik yang pernah terjadi yaitu pada generator PLTG Pesanggaran unit 3 yang mengalami trip akibat gangguan arus lebih. Keadaan trip pada generator unit 3 mengakibatkan daya tersedia tidak mampu melayani beban. Pada sistem kelistrikan apabila terdapat gangguan pada pembangkit tenaga listrik serta terputusnya penyaluran daya dari area lain mengakibatkan penurunan kapasitas keseluruhan sistem interkoneksi. Pembangkit ini terhubung dengan Gardu Induk Pesanggaran, akibat dari trip unit 3 PLTG Pesanggaran akan berimbas langsung pada pelayanan listrik. Dalam kondisi seperti itu, beban sistem yang lebih besar dari kapasitas

pembangkitan yang ada akan menyebabkan penurunan frekuensi sistem. Apabila ini tidak cepat ditanggulangi akan menyebabkan padamnya sistem tenaga listrik (*blackout*) secara total. Oleh karena itu untuk menghindari terjadi *blackout* perlu dilakukan pelepasan beban secara otomatis. Berdasarkan masalah tersebut di atas pada penelitian ini akan dibahas tentang studi koordinasi UFR (*Under Frequency Relay*) pada Gardu Induk Pesanggaran.

2. KAJIAN PUSTAKA

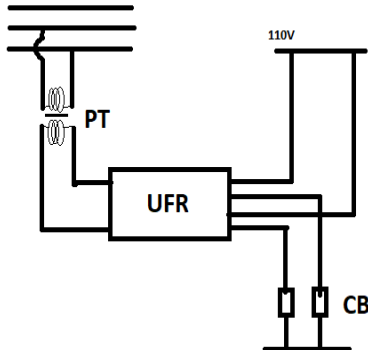
A. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem pada sistem tenaga listrik, sebagai sub sistem dari sistem transmisi, gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran secara keseluruhan. Gardu Induk dilengkapi dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan sesuai dengan tujuannya, dan mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharannya. [4]

B. Relay Frekuensi

Relay Frekuensi berfungsi membaca besar frekuensi sekaligus memberikan perintah ketika menanggapi terjadinya perubahan frekuensi yang mencapai nilai diluar batas yang telah diatur. Relay frekuensi dibagi menjadi OFR (*Over Frequency Relay*) yang berfungsi sebagai pengaman pada generator dan UFR (*Under Frequency Relay*) yang berfungsi mengamankan jika frekuensi sistem menurun hingga berada diluar batas yang diizinkan atau nilai setting pada relay UFR. Selain untuk membaca perubahan frekuensi UFR juga berperan sebagai pengatur bagi sistem pelepasan beban sebagian

sebagai tindak lanjut dari terjadinya penurunan frekuensi.[5]



Gambar 1 Pengawatan UFR pada saluran [5]

Agar memberikan performa maksimal terhadap sistem, perlu dilakukan beberapa pengaturan terhadap UFR (*Under Frequency Relay*). Beberapa parameter yang harus diatur terlebih dahulu antara lain adalah frekuensi kerja rele, waktu operasi rele, koordinasi dengan pemutus tenaga. Untuk mengetahui laju penurunan frekuensi digunakan rumus berikut :

$$\frac{df}{dt} = \frac{P_s f_0}{2GH}$$

Dimana :
 df / dt = laju penurunan frekuensi (Hz/sec)
 f_0 = frekuensi nominal
 P_s = Kelebihan Beban
 G = Rata-rata MVA Generator
 H = rata-rata konstanta inersia sistem. Ini setara dengan jumlah konstanta inersia seluruh generator dalam satuan per unit pada base generator.

Besar kelebihan beban dinyatakan dalam persen.

$$\% P_s = \frac{\text{Beban} - \text{Suplai}}{\text{Suplai}} \times 100$$

Dimana :
 $\% P_s$ = Persentase Kelebihan Beban

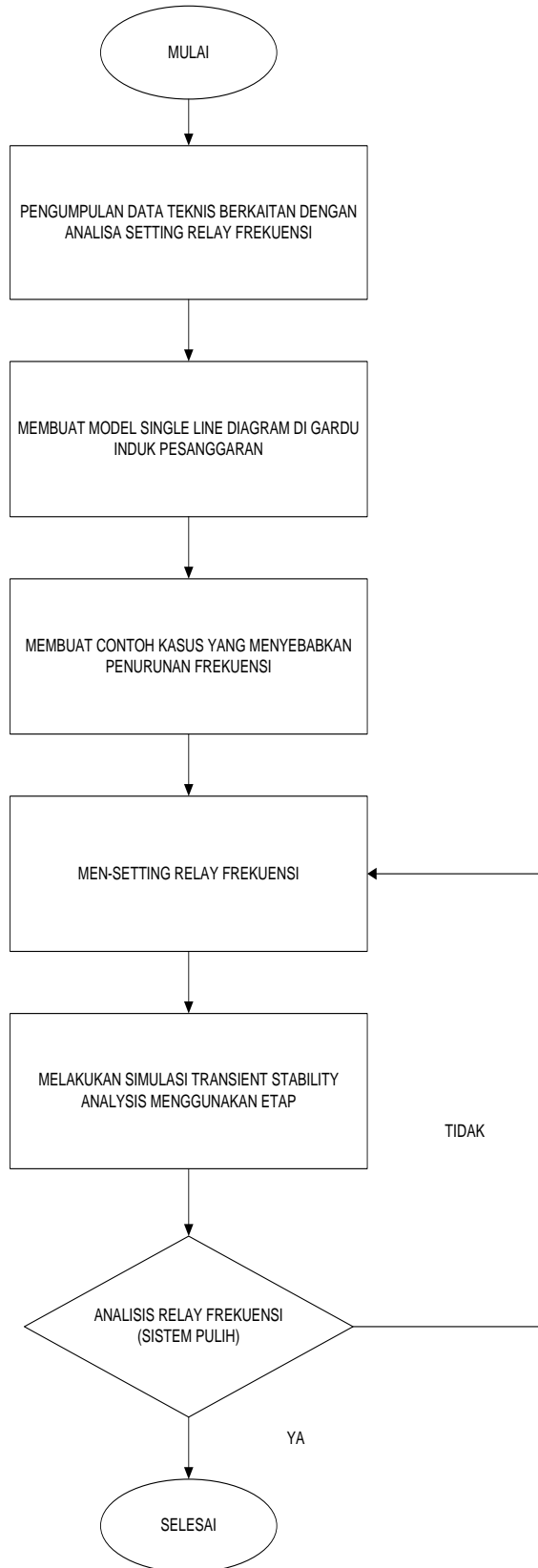
3. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di sisi tegangan tinggi (Transmisi 150kV) dengan menggunakan perangkat lunak ETAP. Data yang digunakan berupa data Beban dan data *single line* diagram GI Pesanggaran. Data yang digunakan mengacu pada data yang diperoleh dari PT PLN (Persero) APD Bali dan PT. PLN (Persero) APB Bali.

Dari data yang diperoleh, dilakukan simulasi pada perangkat lunak ETAP untuk mengetahui besar penurunan frekuensi yang terjadi pada sistem GI Pesanggaran dan mengetahui unjuk kerja UFR dalam menanggapi penurunan frekuensi yang terjadi di GI Pesanggaran.

Gambar di bawah merupakan gambar alur analisis penelitian. Dimulai dengan melakukan pengumpulan data teknis yang berkaitan dengan analisis *setting relay*. Dilanjutkan dengan membuat *single line* diagram di GI Pesanggaran dan memberikan contoh keadaan gangguan yang membuat frekuensi sistem menurun dengan memberikan keadaan Mesin Pembangkit yang memikul beban GI Pesanggaran trip. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *metode Transient Stability Analysis* pada ETAP

Hasil data pengukuran ETAP akan dianalisis dengan membandingkan hasil pengukuran ETAP dengan hasil perhitungan dan didapatkan berapa lama waktu pemulihan yang dilakukan UFR dari keadaan gangguan hingga normal kembali.



Gambar 2. Diagram Alur Analisis Penelitian

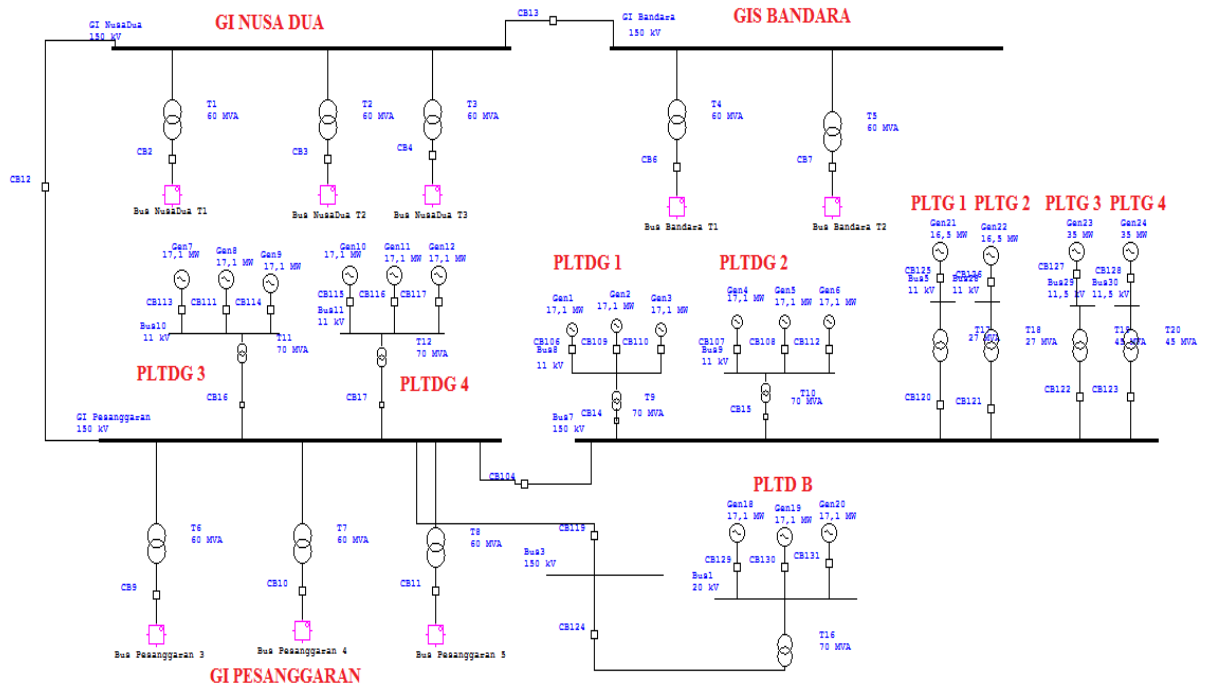
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Kondisi kelistrikan Bali terdiri dari 15 Gardu Induk dengan pertumbuhan beban mencapai 899 MW pada pertengahan tahun 2018 . kelistrikan Bali dibagi menjadi 2 Wilayah Jaringan transmisi yaitu Pulau Pesanggaran dan Pulau Celukan Bawang. Dalam keadaan normal Pulau Pesanggaran dan Pulau Celukan Bawang beroperasi seluruhnya membentuk Pulau Bali.

Tabel 1. Data peralatan pada Pulau Pesanggaran [8]

Pembangkit	PLTDG	
	Jumlah Unit	12
	Daya setiap Unit	17,1 MW
	PLTD	
	Jumlah Unit	3
	Daya setiap unit	18 MW
	PLTG	
	Jumlah Unit	4
	Daya	2 unit @ 16,5 MW
		2 unit @ 35 MW
Trafo	Main Trafo	
	Jumlah Unit	8
	Rating	60 MVA
	Tegangan Primer	150 kV
	Tegangan Sekunder	20 kV
	Power Plan Transformator	
	Jumlah unit	9
	Rating	70 MVA, 27 MVA, 45 MVA
	Tegangan Primer	11 kV, 11,5 kV, 20 kV
	Tegangan Sekunder	150 kV
Beban	Pulau Pesanggaran	209,6 MW
	GI Pesanggaran	83,3 MW
	GI Nusa Dua	58,1 MW
	GI Bandara	39,1 MW



Gambar 3. Single line diagram Pulau Pesanggaran

4.2 Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan studi kasus dengan memberikan beberapa kondisi gangguan pada mesin pembangkit yang menyebabkan trip sehingga terjadi penurunan frekuensi sebagai berikut :

Tabel 2. Beberapa Kasus yang dianalisis

Kasus	Keterangan
I	Gen1 (PLTDG Unit 1) Lepas
II	Gen1 dan Gen2 (PLTDG Unit 1 dan 2) Lepas
III	Gen1, Gen2 dan Gen3 (PLTDG Unit 1,2,dan 3) Lepas

Studi kasus tersebut dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja UFR dalam memulihkan sistem. Kondisi di atas diberikan secara bertahap dari I sampai III.

Tahapan pelepasan beban

Adapun tahapan pelepasan beban akan disetting pada relay frekuensi dengan nilai seting pada tabel di bawah.

Tabel 3. Tahapan pelepasan beban

TAHAP	FREK (Hertz)	PENYULANG	BEBAN (MW)
I	49,6	KAMPUS	4,1
		PEGOK	4,7
		DUTY FREE	6,6
II	49,5	PELASA	2,3
		PEDUNGAN	3
		DISCOVERY	5,2
III	49,3	JADI PESONA	2,6
		BUNISARI	4,1

Nilai seting di atas disusun dengan menyesuaikan besar kehilangan daya untuk keadaan saat generator 1,2 dan 3 terlepas secara serentak. Satu Generator PLTDG memberikan suplai daya sebesar 9,7

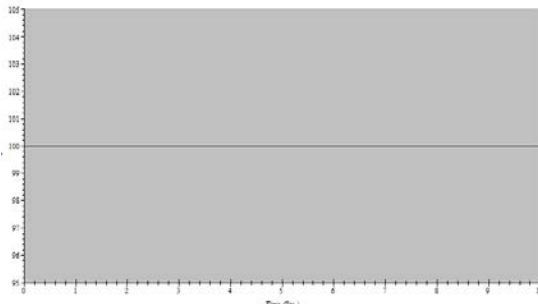
MW, maka dari itu, jika 3 generator trip akan menghasilkan kekurangan daya sebesar 29,1 MW.

Dengan keadaan di atas maka jumlah beban yang dilepaskan harus mendekati jumlah kekurangan daya suplai sehingga frekuensi dapat diseimbangkan.

4.3 Analisis Studi Kasus

Analisis studi kasus akan dilakukan beberapa keadaan dimana generator akan dilepas dengan beberapa kombinasi yang akan dibuat seperti pada **tabel 2**. Dalam analisis ini bus yang di analisis adalah beberapa bus yang menjadi titik acuan dan akan difokuskan pada pembahasan. Bus tersebut adalah bus 7 dan 8 yang merupakan bus generator, bus GI pesanggaran, bus GI Nusa dua, Bus GIS Bandara yang merupakan bus setiap gardu induk, dan bus 24 yang merupakan bus terjauh dari pusat pembangkit.

a. Keadaan Normal Sistem



Gambar 4. Grafik frekuensi saat keadaan normal

Pada keadaan normal tanpa diberi gangguan, sistem berjalan normal dengan frekuensi tetap, pada frekuensi nominal yaitu 50 Hz. Dari hasil simulasi di atas dapat dilihat pada ke-6 bus yang diamati, grafik menunjukkan keadaan tetap yaitu 50 Hz, dari t=0 detik sampai t=10 detik.

b. Keadaan saat Gen1 (PLTDG unit 1) Lepas

Pada keadaan ini, sistem disimulasikan dengan memberikan keadaan dimana CB 106 yang terhubung dengan Gen1 yang merupakan PLTDG unit 1 dibuka pada t=1s sehingga menyebabkan penurunan frekuensi. Grafik penurunan frekuensi dapat dilihat pada **gambar 5**. System kehilangan suplai sebesar 9,723 MW diakibatkan lepasnya Gen1. Sehingga generator yang lainnya terbebani dan membuat kecepatan putaran generator yang lain menurun. Diketahui besar beban pulau pesanggaran adalah sebesar 205,587 MW dan daya aktif yang dibangkitkan adalah 206,102 MW.

$$\text{kelebihan beban} = \frac{\text{beban} - \text{sisa pembangkitan}}{\text{sisa pembangkitan}} \times 100\%$$

Beban = 205,587 MW

Sisa pembangkitan = 196,379 MW

Didapat kelebihan beban adalah 4,69 %

Sehingga dapat dicari laju penurunan frekuensi sistem dengan menggunakan rumus

$$\frac{df}{dt} = \frac{Ps \times f_0}{2GH}$$

Dengan nilai konstanta system adalah H=3 MJ/MVA

Dimana Ps adalah kelebihan beban, $f_0 = 50$ Hz, dan nilai G adalah rata rata MVA Generator :

$$G = \frac{MVA1 + MVA2 + \dots + MVAn}{n}$$

$$G = \frac{496,12}{19} = 22,427 \text{ MVA}$$

Sehingga jika dimasukkan dalam rumus didapat laju penurunan frekuensi sebesar :

$$\frac{df}{dt} = \frac{4,69 \times 50}{2(22,4)(3)}$$

$$\frac{df}{dt} = 1,745 \text{ Hz/s}$$

Laju Penurunan frekuensi diasumsikan jika daya yang dihasilkan generator konstan dalam artian jika terjadi trip 1 unit generator, unit generator lainnya tidak menambah daya pada sistem. Sehingga dapat

diketahui sistem akan *blackout* yang ditandai dengan $f = 47$ Hz adalah pada saat $t = t_{\text{saat terjadi gangguan}} + t_{\text{trip}}$, dengan rumus

$$f = f_0 - \frac{df}{dt} \times t_{\text{trip}}$$

Dimana t adalah lamanya waktu gangguan. Sehingga rumusnya menjadi :

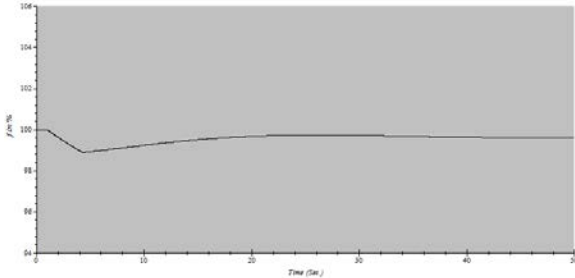
$$\frac{df}{dt} \times t_{\text{trip}} = f_0 - f$$

$$t_{\text{trip}} = \frac{f_0 - f}{\frac{df}{dt}}$$

Dengan memasukkan nilai $\frac{df}{dt}$ di atas, maka :

$$t_{\text{trip}} = \frac{50 - 47}{1,745} = 1,719 \text{ s}$$

Sehingga pada $t = 1 + 1,719 = 2,719$ s sistem akan mengalami *blackout*.



Gambar 5 grafik frekuensi saat Gen1 lepas

Grafik di atas menunjukkan penurunan frekuensi pada $t = 1$ s menggunakan ETAP. Pada $t = 3,321$ s penurunan frekuensi berada pada 49,59 Hz. Dengan mengamati generator PLTD B Unit 3 pada $t = 3,921$ s, kecepatan putaran generator tersebut mencapai 495 rpm dengan kutub berjumlah 12, sehingga frekuensi dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini

$$f(t = 3,921s) = p \cdot \frac{n}{120} = 12 \cdot \frac{495}{120} = 49,5 \text{ Hz}$$

Sehingga diketahui pada $t = 3,921$ s frekuensi menyentuh batas yang diperbolehkan yaitu 49,5 Hz, pada $t = 4,692$ s frekuensi mulai naik dikarenakan UFR Bekerja pada frekuensi 49,45 Hz dan pada $t = 6,092$

kecepatan genertor kembali pulih pada angka 495 rpm

$$f(t = 6,092s) = p \cdot \frac{n}{120} = 12 \cdot \frac{495}{120} = 49,5 \text{ Hz}$$

Dari waktu yang didapatkan dapat disimpulkan penurunan frekuensi yang terjadi akibat lepasnya generator unit 1 PLTDG dapat dipulihkan dalam waktu 1,171s

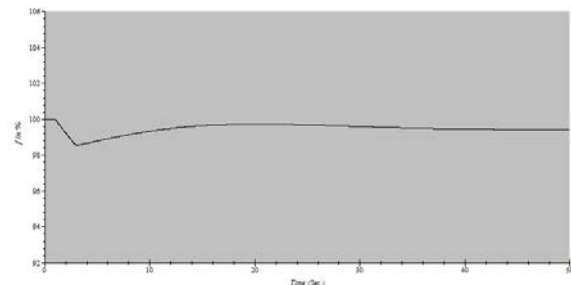
$$t = t_1 - t_0$$

$$t = 6,092 - 4,921 = 1,171 \text{ detik}$$

Tabel 4. Perbandingan Frekuensi saat keadaan normal, gangguan dan pelepasan beban

Waktu (s)	Keadaan	Frekuensi (Hz)
0 - 1	Normal	50
1,1 - 2,924	Gen1 Lepas	49,96 - 49,29
2,925 - 50	Tahap I	49,5 - 49,8

c. Keadaan saat Gen1 dan Gen2 (PLTDG unit 1 dan 2) Lepas



Gambar 6 grafik frekuensi saat Gen1 dan Gen2 lepas

Pada keadaan ini, generator 1 dan 2 (PLTDG unit 1 dan 2) Lepas sehingga menyebabkan kehilangan daya pembangkit sebesar 19,4 MW.

Dengan perhitungan yang sama dengan kasus pertama, didapatkan sistem akan mengalami *blackout* pada $t = 1,794$ s. Dengan dipasangnya UFR pada sistem menyebabkan frekuensi yang turun hingga menyentuh batas frekuensi yang diperbolehkan dapat menghindarkan sistem dari *blackout*. Pada $t = 2,161$ s frekuensi menyentuh batas frekuensi normal yaitu 49,5 Hz dan terus menurun. UFR melepaskan

beban Tahap I dan II yang menyebabkan frekuensi berhenti menurun pada $t=3,292s$ di angka 49,28 Hz dan kembali pulih hingga menyentuh batas normal sistem pada $t=6,692s$
 Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk sistem memulihkan diri adalah 4,531 detik.

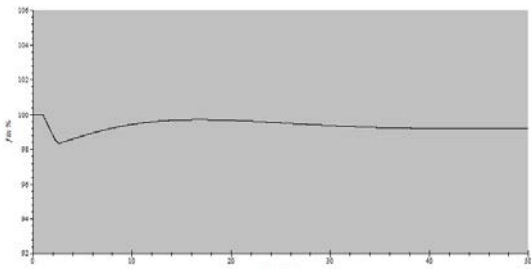
$$t = t_1 - t_0$$

$$t = 6,692 - 2,161 = 4,531 \text{ detik}$$

Tabel 5. Perbandingan Frekuensi saat keadaan normal, gangguan dan pelepasan beban

Waktu (s)	Keadaan	Frekuensi (Hz)
0 – 1	Normal	50
1,1 – 6,395	Gen1 dan Gen2 Lepas	49,91 – 49,19
6,396 - 50	Tahap I dan II	49,5 – 49,72

d. Keadaan saat Gen1, Gen2 dan Gen3 (PLTDG unit 1,2 dan 3) Lepas



Gambar 7 grafik frekuensi saat Gen1, Gen2 dan Gen3 lepas

Pada keadaan ini, generator 1,2 dan 3 (PLTDG unit 1,2 dan 3) Lepas sehingga menyebabkan kehilangan daya pembangkit sebesar 29,1 MW.

Dengan perhitungan yang sama dengan kasus pertama, didapatkan sistem akan mengalami blackout pada $t=1,497s$. Dengan dipasangnya UFR pada sistem menyebabkan frekuensi yang turun hingga menyentuh batas

frekuensi yang diperbolehkan dapat menghindarkan sistem dari blackout. Pada $t= 1,861s$ frekuensi menyentuh batas frekuensi normal yaitu 49,5 Hz dan terus menurun. UFR melepaskan beban Tahap I, II dan III yang menyebabkan frekuensi berhenti menurun dan kembali pulih hingga menyentuh batas normal sistem pada $t=6,375s$

Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk sistem memulihkan diri adalah 4,531 detik.

$$t = t_1 - t_0$$

$$t = 6,375 - 1,861 = 4,514 \text{ detik}$$

Tabel 6. Perbandingan Frekuensi saat keadaan normal, gangguan dan pelepasan beban

Waktu (s)	Keadaan	Frekuensi (Hz)
0 – 1	Normal	50
1,1 – 6,375	Gen1, Gen2 dan Gen3 Lepas	49,89 – 49,18
6,376 - 50	Tahap I,II dan III	49,5 – 49,61

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa relay under frekuensi pada Gardu Induk Pesanggaran, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi menunjukkan penurunan frekuensi masih berada pada batas yang tidak membuat sistem *blackout* yaitu di atas 47 Hz. Pada kasus pertama frekuensi turun hingga 49,29 Hz, kasus kedua 49,19 Hz, kasus ketiga 49,18 Hz
2. Dengan setting UFR yang digunakan dalam simulasi, hasil analisa menunjukkan bahwa pada kasus Gen1 Terlepas dari sistem menyebabkan sistem kehilangan daya hingga 9,723 MW, frekuensi turun hingga 49,29 Hz dan waktu pemulihan yang diperlukan adalah

1,171 detik. Pada kasus Gen1 dan Gen2 Terlepas, sistem kehilangan daya sebesar 19,486 MW, frekuensi turun hingga 49,19 Hz dan waktu pemulihan adalah 4,531 detik. Pada kasus Gen1, Gen2 dan Gen3 terlepas, sistem kehilangan daya sebesar 29,169 MW, frekuensi turun hingga 49,18 MW dan waktu pemulihan adalah 4,514 detik

Generator pada Unit Pembangkitan Pesanggaran. Denpasar : PT . (IP Bali) Indonesia Power Unit Pembangkitan Bali, 2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sofwan, A., Utomo, B. Sistem Proteksi Terhadap Kestabilan Frekuensi Untuk Pelepasan Beban Berbasis Fuzzy Logic Control. Jakarta : PPS ISTN, 2009.
- [2] Mawar, S.,. Pelepasan Beban Menggunakan Under Frequency Relay pada Pusat Pembangkit Tello. Makasar : Univ. Hasanuddin, 2009. Vol. 12
- [3] Pradnya MA., Arjana IGD., dan Arta Wijaya IW. Data Penyulang pada Gardu Induk wilayah pulau pesanggaran,.. PT. PLN (Persero). Denpasar : Univ. Udayana, 2017.
- [4] Arismunandar, A., Kuwahara, S.,. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III Gardu Induk,. Jakarta : PT. Pradnya Paramita Jakarta, 2004. 7th ed
- [5] Hadi, A., Ervianto, E. Studi Pelepasan Beban dengan Menggunakan Relai Frekuensi Kurang Pada Sitem Tenaga Listrik. Riau : Jom FTEKNIK, 2016. Volume 3.
- [6] IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants. New York : IEEE The institute of Eletrical and Engineers Inc., 2003. IEEE C37.106-19887
- [7] IEEE Guide for AC Generator Protection,. New York : IEEE The institute of Eletrical and Engineers Inc., 1995. IEEE C37.102-1995
- [8] PT . (IP Bali) Indonesia Power Unit Pembangkitan Bali. Data