

ANALISIS KINERJA *UNDER FREQUENCY RELAY* PADA SUBSISTEM KELISTRIKAN BALI SAAT KONDISI *ISLAND OPERATION*

Fajar Rizky Kurniawan¹, I G. Dyana Arjana², Rukmi Sari Hartati³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali

email: fajarkurniawan3011@gmail.com¹, dyanaarjana@ee.unud.ac.id², rukmisari@unud.ac.id³

ABSTRAK

Suatu sistem tenaga listrik akan mengalami gangguan beban lebih jika suatu pembangkit yang sebelumnya dapat menyuplai daya ke sistem mengalami pemadaman, sehingga menyebabkan pembangkit lainnya yang masih beroperasi harus menanggung seluruh beban dari sistem tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *under frequency relay* (UFR) yang telah terpasang pada sistem Bali dalam mengatasi gangguan beban lebih yaitu berupa padamnya generator sesuai skenario yang telah dibuat. Metode yang digunakan ialah dengan memodelkan skema pelepasan beban menggunakan UFR pada perangkat lunak dan dijalankan sesuai dengan skenario. Skenario yang dimaksud ialah gangguan yang menyebabkan salah satu generator atau lebih mengalami pemadaman akibat gangguan. Hasil dari analisis diperoleh bahwa *under frequency relay* (UFR) yang terpasang pada sistem Bali tidak dapat mengembalikan frekuensi sistem ke keadaan normal yaitu sistem mengalami kekurangan daya pembangkitan dengan frekuensi *steady state* dibawah 49,8 Hz pada skenario gangguan ke-3, ke-4, dan ke-5 sedangkan sistem mengalami kelebihan daya pembangkitan dengan frekuensi *steady state* diatas 50,2 Hz pada skenario gangguan ke-9 dan ke-10.

Kata Kunci : *under frequency relay, frekuensi, island operation*

ABSTRACT

An electric power system will get overload disturbance if a plant that was previously able to supply power to a system that is outage, causes other plants that are still operating to have the entire load of the system. This study aims to see the performance of under frequency relay (UFR) that has been installed in the Bali system in overcoming overload disturbances, namely in the form of generator outages according to the scenario that has been made. The method used is to model the load shedding scheme using UFR in software and run according to the scenario. The scenario referred to is a disturbance that causes one or more generators to experience blackouts due to disturbances. The results of the analysis show that under the frequency relay (UFR) installed in the Bali system it cannot return the system frequency to its normal state, namely the system has a shortage of generating power with a steady state frequency below 49.8 Hz in the 3rd, 4th fault scenarios. , and the 5th while the system has excess power generation with a stable state frequency above 50.2 Hz at the 9th and 10th disturbances.

Keywords: *under frequency relay, frequency, island operation*

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan suatu proses penghasilan dan pendistribusian energi listrik hingga dapat dimanfaatkan oleh konsumen. Proses pembangkitan energi listrik tersebut dimulai dari pengkonversian energi primer menjadi energi sekunder oleh generator. Keluaran dari generator berupa besaran arus dan tegangan akan

ditransmisikan dan didistribusikan ke beban. Selanjutnya energi listrik yang bermula dari keluaran generator sebelum dapat dimanfaatkan dengan baik akan melalui sistem transmisi. Untuk dapat mengurangi rugi – rugi daya pada saluran transmisi maka perlu dilakukan penaikan tegangan oleh transformator *step up* sehingga sesuai

dengan rumus daya *output* transformator maka arus yang mengalir pada saluran transmisi akan menurun dan menyebabkan rugi-rugi pada saluran transmisi berkurang. Agar energi listrik dapat dikonsumsi oleh konsumen, selanjutnya energi listrik akan memasuki sistem distribusi. Setelah energi listrik mendekati pusat beban, selanjutnya tegangan akan diturunkan oleh transformator *step down* berdasarkan kelas konsumen. Untuk menghasilkan energi listrik yang aman, handal, dan berkualitas bagi konsumen maka diperlukan peran dari peralatan proteksi [1]. Ketika sistem mengalami suatu gangguan, sistem proteksi dituntut untuk mampu mengembalikan kondisi sistem ke keadaan normal [2].

Apabila secara tiba-tiba terjadi gangguan yang menyebabkan generator padam atau terjadi peningkatan beban yang besar secara tiba-tiba, maka generator pada sistem tersebut akan mengalami perubahan daya mekanik. Hal tersebut terjadi karena daya beban pada sistem mengalami perubahan dan mengharuskan generator untuk menutupi kekurangan daya pembangkitan. Penurunan frekuensi tidak dapat dihindari jika daya mekanik generator tidak dengan segera mengimbangi peningkatan daya beban sistem [3]. Pada tegangan normal, menurunnya frekuensi pada sistem dapat mengakibatkan eksitasi berlebih yang berujung pada memanasnya inti generator sehingga dapat mengurangi umur pemakaian dari generator tersebut. [1].

Sistem kelistrikan Bali merupakan satu kesatuan dari wilayah operasi sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali, dimana sistem Bali terinterkoneksi dengan sistem Jawa melalui SKLT 150kV dari GI Banyuwangi ke GI Gilimanuk. Sistem Bali memiliki target pelepasan beban UFR dimulai dari frekuensi 48,6 Hz, 48,5, dan 48,4 Hz dengan total pelepasan beban mencapai 124,78 MW. Sedangkan untuk pembentukan *island* Bali dimulai dari frekuensi 48,3 Hz dengan melepas interkoneksi Jawa-Bali (sirkuit 1, 2, 3, dan 4 dilepas) dengan target pelepasan beban frekuensi 48,2 Hz sebesar 127 MW dan frekuensi 48,1 Hz sebesar 114 MW [4].

Pada saat sistem Bali dalam keadaan *island operation* dimana seluruh pembangkit pada sistem Bali memikul seluruh beban dari sistem Bali tanpa mengandalkan suply daya

dari sistem Jawa, ketika terjadi gangguan yang menyebabkan pembangkit listrik dengan kapasitas 40 MW hingga 50 MW padam dan berdampak pada kehilangan daya pembangkitan secara tiba-tiba, penurunan frekuensi yang terjadi tidak menyebabkan *under frequency relay* bekerja, hal ini mengakibatkan frekuensi sistem setelah terjadinya gangguan berada di bawah batas yang diizinkan. Sedangkan ketika terjadi gangguan yang menyebabkan pembangkit listrik dengan kapasitas 125 MW hingga 132 MW padam dan berdampak pada kehilangan daya pembangkitan secara tiba-tiba, *under frequency relay* bekerja namun terjadi penurunan frekuensi yang ekstrim sehingga menyentuh batas frekuensi pelepasan beban pembentukan *island* Bali dan menyebabkan frekuensi sistem setelah terjadinya gangguan mengalami peningkatan melewati batas yang diizinkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji apakah pelepasan beban menggunakan UFR yang terpasang mampu mengatasi gangguan beban lebih pada sistem kelistrikan Bali saat kondisi *island operation*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik Yang Stabil

Sistem distribusi, sistem pembangkit, dan sistem transmisi merupakan satu kesatuan dari sistem ketenagalistrikan. Peralatan proteksi merupakan suatu bagian yang penting dalam menjaga sistem ketenagalistrikan dari gangguan yang dapat menyebabkan pemadaman listrik maupun rusaknya peralatan [5]. Terjadinya gangguan pada salah satu subsistem, dapat mengakibatkan ketidakstabilan frekuensi maupun tegangan. Gangguan pada sistem transmisi yang mengakibatkan padamnya generator pada suatu sistem, dapat berakibat pada penurunan frekuensi dan tegangan dalam waktu yang singkat [6].

2.2 Gangguan Beban Lebih (Kelebihan Beban)

Kelebihan beban pada suatu sistem ketenagalistrikan dapat disebabkan oleh padamnya pembangkit yang menyebabkan hilangnya daya pembangkitan, selain itu juga dapat disebabkan oleh meningkatnya daya beban secara tiba-tiba. Kedua hal tersebut dapat mengakibatkan ketidakseimbangan

antara *supply* dan demand yang akan berujung pada penurunan frekuensi [2]. Besarnya daya yang hilang akibat gangguan dapat mempengaruhi besar kecilnya kecepatan penurunan frekuensi.

2.3 Cara Mengatasi Gangguan Lebih

Penurunan frekuensi akibat gangguan beban lebih secara terus menerus akan berakibat pada pemadaman total [2]. Berikut merupakan cara-cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi gangguan beban lebih yang dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman total, diantaranya:

- Memanfaatkan kapasitas daya pembangkit seoptimal mungkin.
- Melakukan pelepasan beban.
- Island operation* (Operasi Pemisahan).

2.4 Jenis Pelepasan Beban

Pelepasan beban pada umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu pelepasan beban secara *manual* (dilakukan langsung oleh operator) dan pelepasan beban secara otomatis (*automatic load shedding*) [7]:

- Manual load shedding* (Pelepasan Beban Secara Manual)

Pelepasan beban secara manual hanya digunakan pada saat *Control Load Shedding* (pengontrol pelepasan beban) tidak bekerja sebagaimana mestinya (tidak dalam keadaan normal).

- Automatic Load Shedding* (Pelepasan Beban secara otomatis)

Sistem pelepasan beban otomatis merupakan sistem pengaman menggunakan *Under Frequency Relay* (UFR). Beban-beban yang akan dilepas sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu dan akan secara bertahap pada tiap-tiap rentang frekuensi yang telah ditentukan. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan pelepasan beban diantaranya [7]:

- Seberapa besar beban sistem yang akan dilepas pertahapannya.
- Menentukan jumlah tahapan pelepasan beban berdasarkan kemampuan sistem.
- Pengaturan waktu tunda yang direncanakan pada setiap waktu pelepasan.
- Frekuensi dimana setiap tahapan pelepasan beban.

2.5 Standar Frekuensi

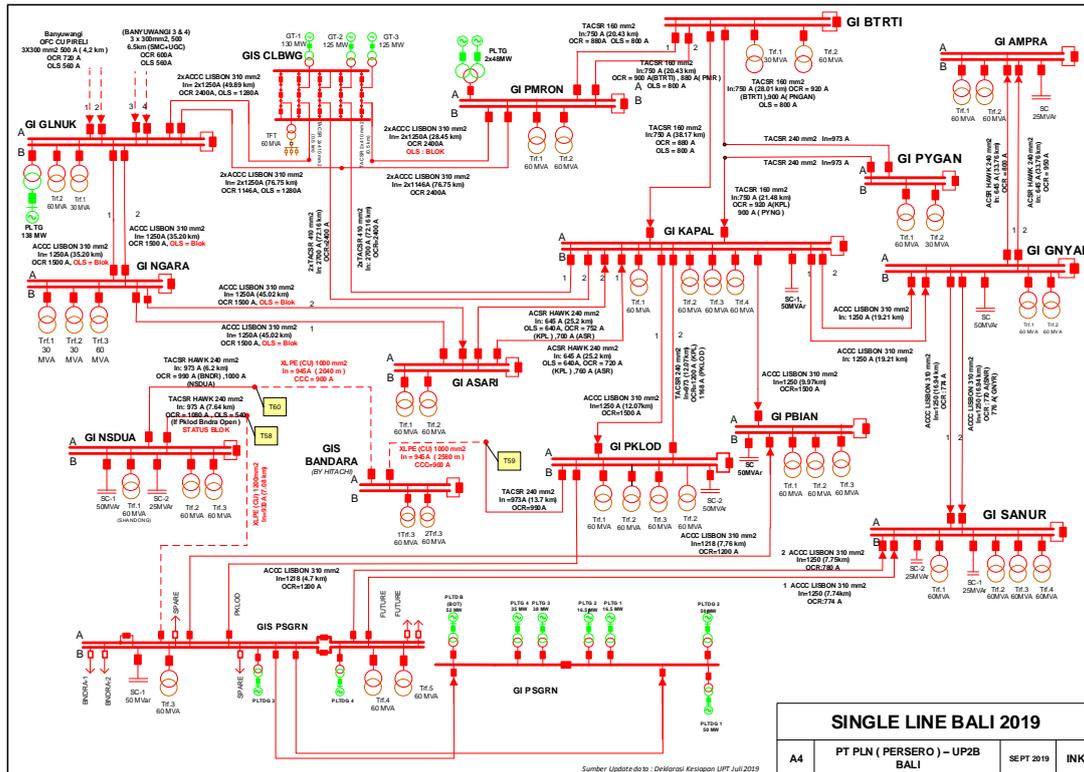
Pada sistem tenaga listrik, variabel frekuensi adalah tolak ukur suatu sistem kelistrikan dalam menentukan seimbangnnya daya yang dibangkitkan dengan total daya beban sistem. Rentang frekuensi yang diizinkan telah diatur dalam PERMEN ESDM No. 3 Tahun 2007 tentang aturan penyambungan yang menetapkan frekuensi nominal sistem untuk Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali adalah 50 Hz dan batas yang diizinkan adalah 50,2 – 49,8 Hz [8].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di sisi tegangan tinggi (Transmisi 150kV) dengan menggunakan perangkat lunak penunjang simulasi stabilitas transien. Data yang digunakan berupa data *single line diagram* sistem Bali, data transformator daya pada setiap gardu induk sistem Bali, data saluran transmisi 150 kV pada sistem Bali, Data beban puncak masing-masing penyulang pada sistem Bali, serta data target pelepasan beban dengan UFR beserta pengaturan frekuensi pelepasan bebannya. Data yang digunakan mengacu pada data yang diperoleh dari PT PLN (PERSERO) UP2B (Unit Pelayanan Pengatur Beban) wilayah Bali.

Dari data yang diperoleh, selanjutnya dilakukan simulasi pada perangkat lunak penunjang simulasi stabilitas transien untuk mengetahui besar penurunan frekuensi yang terjadi pada sistem Bali dan mengetahui unjuk kerja UFR dalam menanggapi penurunan frekuensi yang terjadi.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data teknis dan *study literatur* yang berkaitan dengan analisa laju penurunan frekuensi pada sistem Bali. Dilanjutkan dengan memodelkan *single line diagram* sistem Bali dengan kondisi *island operation* pada *software* lunak simulasi, melakukan simulasi aliran daya, memodelkan UFR yang terpasang, dan membuat skenario gangguan *short circuit* tiga fasa pada bus generator yaitu bus GI Pesanggaran, GI Pamaran, GI Celukan Bawang, GI Gilimanuk sehingga menyebabkan satu atau lebih generator padam. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak penunjang simulasi stabilitas transien.



Gambar 1. Single Line Diagram Sistem Bali

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit Induk Pengatur Beban (UP2B) Bali terdiri dari 16 gardu induk dengan level tegangan saluran transmisi 150 kV. Berdasarkan data-data yang telah didapat, dilakukan pemodelan dalam bentuk *single line* diagram dari sistem kelistrikan Bali dengan menggunakan perangkat lunak. Berikut merupakan hasil dari simulasi aliran daya sistem kelistrikan Bali kondisi *island operation* dengan menggunakan perangkat lunak.

```

Gen Bus
Generation = GenP = 674.47 MW GenC = 170.17 MW GenS = 523.07 MVA
Sefectr Infact = NetP = 0.00 MW NetQ = 0.00 MVar NetS = 0.00 MVA
Inter Area Flow = InterP = 0.00 MW InterQ = 0.00 MVar
Load P/Q = LoadP = 698.52 MW LoadQ = 170.17 MVar LoadS = 673.34 MVA
Load P/Q = LoadP = 698.52 MW LoadQ = 170.17 MVar LoadS = 673.34 MVA
Load P/Q = LoadP = 0.00 MW LoadQ = 0.00 MVar NetS = 0.00 MVA
Master Load P = LoadP = 0.00 MW LoadQ = 0.00 MVar NetS = 0.00 MVA
Limiter = LimP = 16.90 MW LimQ = 140.70 MVar
Line Charging = LineChP = 0.00 MW LineChQ = -14.07 MVar
Compensation cap = CompC = 0.00 MVar
Compensation sp = CompS = -161.05 MVar
Installed Capacity = GenPmax = 673.34 MW
Spinning Reserve = GenPmin = 170.17 MW
Total Power Factor
Generator = GenPF = 0.99 [-]
Load Motor = LoadPF = 0.95 [-]
    
```

Gambar 2. Hasil Simulasi Aliran Daya

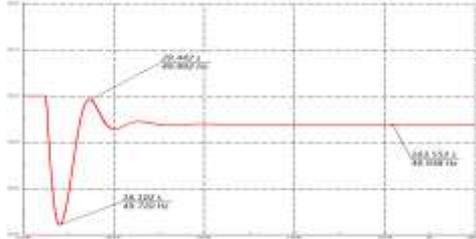
Pada penelitian ini, dibahas mengenai kinerja UFR yang terpasang dalam mengatasi gangguan beban lebih di sistem kelistrikan Bali saat kondisi *island operation* dengan

mengasumsikan jika seluruh pembangkit pada sistem Bali memiliki seluruh beban dari sistem Jawa. Skenario gangguan beban lebih yang akan disimulasikan ialah gangguan *short circuit* tiga fasa pada bus generator sehingga menyebabkan salah satu atau lebih generator padam. Padamnya pembangkit secara tiba-tiba, akan menyebabkan sistem mengalami perubahan pada daya mekanik *prime mover* generator. Hal tersebut terjadi karena adanya perubahan daya beban yang ditanggung oleh masing-masing generator pada sistem Bali. Jika daya mekanik *prime mover* generator tidak dengan segera menyesuaikan terhadap perubahan beban, maka frekuensi sistem akan turun dari rentang frekuensi yang diizinkan.

Untuk dapat mengamati stabilitas frekuensi maka simulasi dilakukan dalam waktu 200 detik. Pada penelitian ini, yang menjadi fokus perhatian ialah perubahan frekuensi pada saat terjadi gangguan dan frekuensi *steady state* sistem setelah terjadi gangguan.

4.1 PLTG Pesanggaran Unit 1 (17,4 MW)

Gambar 3 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTG Pesanggaran Unit 1 lepas dari sistem.

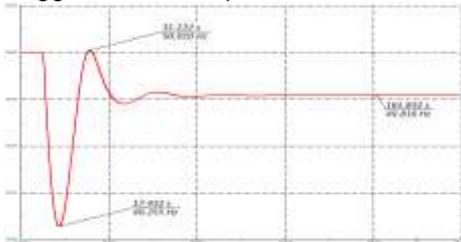


Gambar 3. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTG Unit 1 Pesanggaran Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut tidak menyebabkan UFR untuk melepas beban. Hal ini dikarenakan batas awal UFR eksisting beroperasi yaitu 48,6 Hz. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 49,938 Hz.

4.2 PLTG Pesanggaran Unit 3 (36,5 MW)

Gambar 4 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTG Pesanggaran Unit 3 lepas dari sistem.

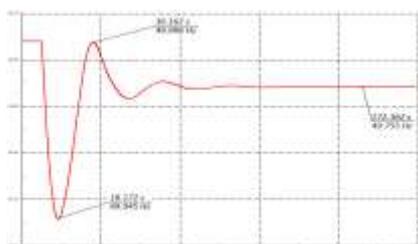


Gambar 4. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTG Pesanggaran Unit 3 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut tidak menyebabkan UFR untuk melepas beban. Hal ini dikarenakan batas awal UFR eksisting beroperasi yaitu 48,6 Hz. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 49,816 Hz.

4.3 PLTD Pemaron Unit 1 (40 MW)

Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTD Pemaron Unit 1 lepas dari sistem.

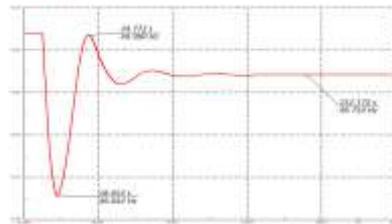


Gambar 5. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTD Pemaron Unit 1 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut tidak menyebabkan UFR untuk melepas beban. Hal ini dikarenakan batas awal UFR eksisting beroperasi yaitu 48,6 Hz. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 49,755 Hz.

4.4 PLTD Pesanggaran BOT (41,5 MW)

Gambar 6 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTD Pesanggaran BOT lepas dari sistem.

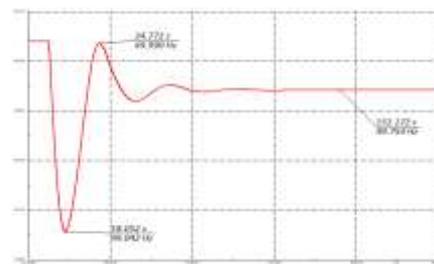


Gambar 6. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTD Pesanggaran BOT Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut tidak menyebabkan UFR untuk melepas beban. Hal ini dikarenakan batas awal UFR eksisting beroperasi yaitu 48,6 Hz. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 49,754 Hz.

4.5 PLTDG Pesanggaran BLOK 1 (45,6 MW)

Gambar 7 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTDG Pesanggaran BLOK 1 lepas dari sistem.

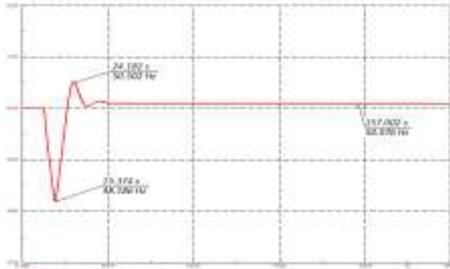


Gambar 7. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTDG Pesanggaran BLOK 1 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut tidak menyebabkan UFR untuk melepas beban. Hal ini dikarenakan batas awal UFR eksisting beroperasi yaitu 48,6 Hz. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 49,752 Hz.

4.6 PLTD Pemaron Unit 1 dan 2 (80 MW)

Gambar 8 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTD Pemaron Unit 1 dan 2 lepas dari sistem.

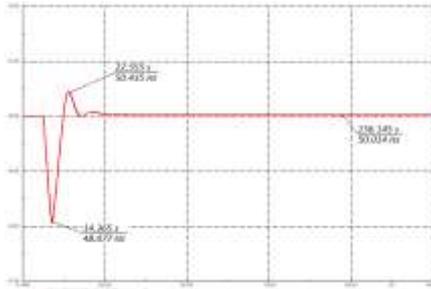


Gambar 8. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTD Pemaron Unit 1 dan 2 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut menyebabkan UFR untuk melepas beban. UFR akan bekerja akibat nilai frekuensi sudah memasuki batas setting UFR yaitu 48,4 Hz dengan melepas beban sebesar 117,4 MW. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 50,076 Hz.

4.7 PLTG Pesanggaran Unit 1, 2, 3 dan 4 (107,8 MW)

Gambar 9 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTG Pesanggaran Unit 1, 2, 3 dan 4 lepas dari sistem.

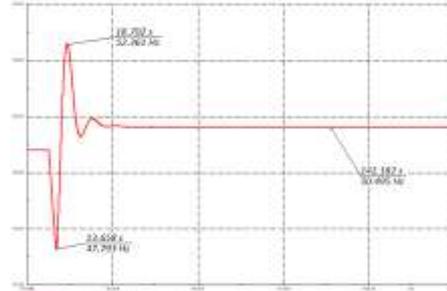


Gambar 9. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTG Pesanggaran Unit 1, 2, 3 dan 4 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut menyebabkan UFR untuk melepas beban. UFR akan bekerja akibat nilai frekuensi sudah memasuki batas setting UFR yaitu 48,4 Hz dengan melepas beban sebesar 117,4 MW. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 50,014 Hz.

4.8 PLTU Celukan Bawang Unit 1 (125 MW)

Gambar 10 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTU Celukan Bawang Unit 1 lepas dari sistem.

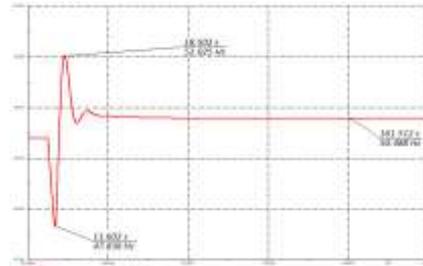


Gambar 10. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTU Celukan Bawang Unit 1 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut menyebabkan UFR untuk melepas beban. UFR akan bekerja akibat nilai frekuensi sudah memasuki batas setting UFR yaitu 48,1 Hz dengan melepas beban sebesar 338,98 MW. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 50,495 Hz.

4.9 PLTG Gilimanuk (130 MW)

Gambar 11 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTG Gilimanuk lepas dari sistem.

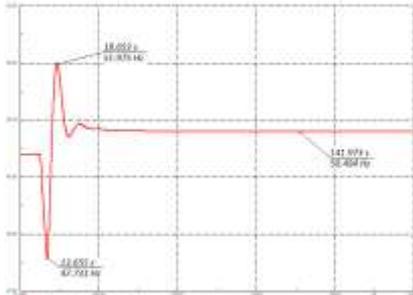


Gambar 11. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTG Gilimanuk Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut menyebabkan UFR untuk melepas beban. UFR akan bekerja akibat nilai frekuensi sudah memasuki batas setting UFR yaitu 48,1 Hz dengan melepas beban sebesar 338,98 MW. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 50,488 Hz.

4.10 PLTD BOT Pesanggaran, PLTD Pesanggaran BLOK 1 dan 2 (132,7 MW)

Gambar 12 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika PLTD BOT Pesanggaran, PLTD Pesanggaran BLOK 1 dan 2 lepas dari sistem.

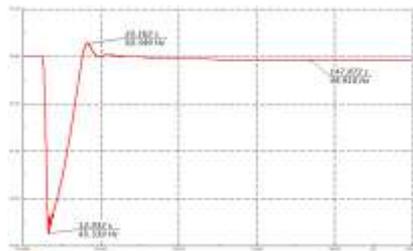


Gambar 12. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika PLTD BOT Pesanggaran, PLTDG Pesanggaran BLOK 1 dan 2 Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut menyebabkan UFR untuk melepas beban. UFR akan bekerja akibat nilai frekuensi sudah memasuki batas setting UFR yaitu 48,1 Hz dengan melepas beban sebesar 338,98 MW. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 50,494 Hz.

4.11 Seluruh Pembangkit pada GI Pesanggaran (331,7 MW)

Gambar 12 menunjukkan grafik perubahan frekuensi sistem Bali ketika Seluruh Pembangkit pada GI Pesanggaran lepas dari sistem.



Gambar 12. Grafik Perubahan Frekuensi Sistem Ketika Seluruh Pembangkit pada GI Pesanggaran Lepas Dari Sistem

Penurunan frekuensi tersebut menyebabkan UFR untuk melepas beban. UFR akan bekerja akibat nilai frekuensi sudah memasuki batas setting UFR yaitu 48,1 Hz dengan melepas beban sebesar 338,98 MW. Frekuensi sistem secara keseluruhan pada akhir simulasi akan *steady state* pada frekuensi 49,910 Hz.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa skema pelepasan beban menggunakan UFR pada beberapa skenario tidak dapat mengembalikan frekuensi ke kondisi normal (49,8 – 50,2 Hz). Dimana pada skenario ketiga, keempat dan kelima frekuensi *steady state* sistem berada

dibawah 49,8 Hz. Hal ini dikarenakan penurunan frekuensi yang terjadi belum menyentuh batas pengaturan UFR eksisting yang pertama yaitu 48,6 Hz, Sehingga untuk pembangkit yang masih aktif akan berusaha memenuhi jumlah beban dari keseluruhan sistem Bali. Sedangkan pada skenario kesembilan dan kesepuluh frekuensi *steady state* sistem berada diatas 50,2 Hz. Pada skenario tersebut, jumlah beban yang dilepas oleh UFR eksisting terlalu banyak sehingga mengakibatkan meningkatnya frekuensi *steady state* melampaui batas yang diijinkan. Selain itu pelepasan beban yang berlebihan dapat menyebabkan beban yang seharusnya tidak padam menjadi padam, hal ini dapat menimbulkan kerugian.

Sehingga perlu dilakukan kajian skema pelepasan beban menggunakan *under frequency relay* pada sistem Bali dengan kondisi *island operation*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noviyanti, Erni. 2016. "Studi Pelepasan Beban Pada Skema Pertahanan (*Defence Scheme*) Jaringan Sistem Khatulistiwa". Universitas Tanjung Pura, Pontianak
- [2] Nugraheni, A. "Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd.," Universitas Indonesia, 2009.
- [3] Wahyudin. 2018. "Pelepasan Beban Dengan *Under frequency relay* Pada Sistem Distribusi PT. Dian Swastatika Sentosa Serang *Power Plant*". Universitas Ageng Tirtayasa, Banten
- [4] PT. PLN (PERSERO) UP2B Bali. 2019 "Rekap Data Beban Puncak Bali Bulan Februari 2019". Bali
- [5] Marsudi, Djiteng. 2006. "Operasi Sistem Tenaga Listrik". Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Gunadin, I.C., 2009. Studi Penurunan Frekuensi pada saat PLTG Senggang Lepas dari Sistem Sulsestrabar. Univ. Hasanuddin Vol 4.
- [7] A. Pradnya, M., "Studi Analisis Dampak Pemasangan *Over Load Shedding* Terhadap Pembebanan Pada Saluran Transmisi 150kV Di Bali", Universitas Udayana, 2017.
- [8] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 3 Tahun 2007 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali," 3, 2007.