

# Analisis Pelepasan Beban Menggunakan Under Frequency Relay pada Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Palopo

Muhdalifah Muhtar

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jl. Raya ITS, Jawa Timur 60111, Indonesia

\*)Corresponding author, Ifahlifah4@gmail.com

## Abstrak

Kestabilan frekuensi adalah salah satu parameter dalam operasi sistem tenaga listrik yang baik. Salah satu cara untuk menekan penurunan frekuensi dengan cara pelepasan beban. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemodelan simulasi pelepasan beban dan nilai frekuensi serta waktu tunda pada *under frequency relay* yang optimal saat terjadi pelepasan beban pada GI Palopo. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan yakni pendekatan kuantitatif dimana pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur, observasi, dan wawancara langsung di kantor ULTG Palopo. Metode analisis perhitungan dan simulasi pelepasan beban menggunakan *software ETAP 16.0*. Simulasi yang dilakukan yakni lepasnya generator pada sistem tenaga listrik. Simulasi skenario lepasnya generator #Poso2 diperoleh daya generator yang terlepas sebesar 65 MW yang mengakibatkan penurunan frekuensi hingga 48.50 Hz, setelah dilakukan perhitungan, waktu pelepasan yang dibutuhkan *relay* sebesar 1.15 s dengan frekuensi pelepasan beban sebesar 49.463 Hz dan besar beban yang dilepaskan 63.769 MW. Setelah dilakukan pelepasan beban frekuensi berhasil naik hingga mencapai keadaan stabil 50.20 Hz. Untuk skenario generator #Poso1 dan Trafo Distribusi1 yang dilepas secara bersamaan daya yang lepas sebesar 97 MW menyebabkan frekuensi menurun hingga 49.3 Hz. Sehingga dari simulasi ditemukan bahwa metode perhitungan untuk pelepasan beban yang digunakan lebih optimal dan berhasil mengembalikan ke batas standar yang diinginkan.

## Abstract

*Frequency stability is one of the parameters in a good electric power system operation. One way to suppress the decrease in frequency is by means of load shedding. This study aims to analyze the load shedding simulation modeling and the value of the frequency and delay time on the optimal under frequency relay when there is a load shedding on the Palopo GI. In this study, the method used is a quantitative approach where data collection is done by literature study, observation, and direct interviews at the ULTG Palopo office. The analysis method of calculation and simulation of load shedding uses ETAP 16.0 software. The simulation carried out is the release of the generator in the electric power system. The simulation of the discharge scenario of the #Poso2 generator, the generator power released is 65 MW which results in a decrease in frequency to 48.50 Hz, after calculations, the required release time for the relay is 1.15 s with a load discharge frequency of 49.463 Hz and the amount of load released is 63,769 MW. After releasing the load, the frequency managed to increase until it reached a stable state of 50.20 Hz. For the scenario of #Poso1 generator and Distribution Transformer1 which are released simultaneously, the released power of 97 MW causes the frequency to decrease to 49.3 Hz. So from the simulation it was found that the calculation method for load shedding used was more optimal and managed to return to the desired standard limit.*

## INFO.

### Info. Artikel:

No. 194

Received. December 9, 2021

Revised. December 19, 2021

Accepted. January 20, 2022

Page. 54 - 62

### Kata kunci:

- ✓ Pelepasan beban
- ✓ Frekuensi
- ✓ *under frequency relay*
- ✓ ETAP

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring perkembangan kemajuan teknologi dan pembangunan. Penggunaan listrik merupakan faktor yang penting dalam kehidupan masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, penerangan, komunikasi, industri dan sebagainya. Oleh karena itu, kualitas listrik yang baik haruslah tercapai agar kebutuhan konsumen dapat dipenuhi. Suatu sistem tenaga listrik dikatakan sebagai sistem yang baik jika memenuhi beberapa persyaratan, yaitu keandalan, kualitas dan kestabilan[1].

Frekuensi adalah salah satu parameter dalam operasi sistem tenaga listrik. Frekuensi identik dengan banyaknya jumlah gelombang per satu periode waktu. Ada beberapa kondisi yang menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi antara lain gangguan hubung singkat, terlepasnya generator, perubahan beban secara tiba-tiba atau *switching* saluran<sup>[1]</sup>. Jika daya permintaan beban lebih besar dibandingkan daya yang dibangkitkan generator maka akan menyebabkan penurunan frekuensi. Kondisi *under frequency* yang berkelanjutan pada sistem tenaga harus ditangani dengan cepat karena dapat menyebabkan pemadaman total (*blackout*) sehingga membuat kerugian yang besar bagi penyedia suplai listrik dan konsumen listrik. Salah satu cara untuk menekan penurunan frekuensi dilakukan dengan cara pelepasan beban (*load shedding*) dengan melalui syarat dan tahapan yang telah ditentukan.

Salah satu metode pelepasan beban yang diterapkan pada Gardu Induk Palopo adalah menggunakan *under frequency relay* (UFR) dengan menentukan frekuensi berdasarkan laju penurunan frekuensi dan melepas beban sesuai dengan ketentuan yang telah ditentukan. Seiring perkembangan jaringan dan naiknya beban sistem serta bertambahnya unit pembangkit maka perlu dilakukan peninjauan ulang program pelepasan beban menggunakan UFR yang lebih efisien sehingga jumlah beban yang dilepas dapat diminimalkan untuk mencapai level frekuensi dan tegangan yang diizinkan.

Oleh karena itu, berdasarkan latar belakang di atas maka peneliti mengangkat topik mengenai analisa pelepasan beban menggunakan *Under Frekuensi Relay* pada Gardu Induk Palopo agar sistem tenaga kembali ke kondisi yang seimbang atau stabil.

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pemodelan simulasi pelepasan beban dan nilai frekuensi serta waktu tunda pada *under frequency relay* yang optimal saat terjadi pelepasan beban pada GI Palopo. Dalam penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan suatu telaah tentang metode pelepasan beban dan analisa pelepasan beban pada Gardu Induk Palopo yang disebabkan oleh penurunan frekuensi pada sistem tenaga listrik sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan pada sistem tenaga.

### Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan<sup>[2]</sup>.

Secara garis besar, sistem tenaga listrik tersebut dapat dikelompokkan atas tiga komponen atau bagian utama, yaitu;

- a. Sistem pembangkit
- b. Sistem transmisi, dan
- c. Sistem distribusi

### Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya yang mana tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan<sup>[3]</sup>.

### Frekuensi Listrik

Frekuensi listrik merupakan jumlah siklus arus bolak-balik (*alternating current*) per detik dan dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz). Pada sistem tenaga listrik, keseimbangan antara pembangkit dan

beban harus dijaga setiap saat agar kestabilan pasokan energi listrik tetap berlangsung. Untuk melihat keseimbangan ini digunakan frekuensi sebagai parameternya<sup>[2]</sup>.

Suatu pusat pembangkit terhubung ke jaringan yang telah terhubung dengan satu atau lebih pusat pembangkit lainnya membutuhkan proses sinkronisasi. Agar memungkinkan terjadinya sinkronisasi maka frekuensi dari pembangkit daya listrik harus dapat dikontrol.

### Penurunan Frekuensi

Penurunan frekuensi (*under frequency*) terjadi dalam kondisi daya beban lebih besar daripada daya yang dibangkitkan. Kondisi ini bisa disebabkan oleh perubahan beban yang besar. Selain perubahan beban, penurunan frekuensi pada suatu sistem bisa disebabkan karena kegagalan penggerak mula (putaran turun) menyebabkan frekuensi rotor akan turun dan bila *exciter* tidak bisa mengimbangnya maka tegangan *output* generator akan berkurang<sup>[4]</sup>.

Mulai bekerjanya suatu *under frequency relay* adalah ketika frekuensi memasuki wilayah abnormal. Untuk mendapatkan keandalan tinggi dari sistem tersebut maka harus dipilih tingkat frekuensi tertinggi untuk rele trip. Pemilihan tingkat frekuensi pertama kali bekerja ditentukan oleh pengguna. Setelah frekuensi tertinggi untuk rele bekerja ditentukan, penentuan frekuensi acuan tahap kedua dan seterusnya bergantung pada besarnya perkiraan laju penurunan frekuensi yang terjadi dan waktu operasi rele pada tahap sebelumnya.

Laju penurunan frekuensi bergantung pada besarnya kelebihan beban yang terjadi, frekuensi nominal, rating MW generator dalam keadaan ideal dan besarnya konstanta inersia<sup>[1]</sup>.

$$\frac{df}{dt} = \frac{S_s}{2GH} \cdot f_0 \quad (a)$$

$$f_1 = f_0 - \left(\frac{df}{dt}\right)_{0-1} \cdot (t - t_0) \quad (b)$$

Dengan,  $\frac{df}{dt}$  = Laju Penurunan Frekuensi

$S_s$  = Selisih permintaan beban dan daya yang disuply generator (MW)

$G$  = Rating Generator (MW)

$H$  = Konstanta Inersia (MJ/MW)

$f_0$  = Frekuensi nominal (Hz)

$f_1$  = Frekuensi acuan pelepasan beban (Hz)

### Pelepasan Beban

Pelepasan beban atau disebut *Load Shedding* merupakan fenomena sistem tenaga listrik yang mengizinkan beberapa beban lepas dalam rangka memelihara kestabilan sistem tenaga listrik. Pelepasan beban dapat terjadi karena adanya ketidak seimbangan antara daya aktif yang dibangkitkan generator dan konsumsi beban. Penurunan frekuensi tersebut jika tidak cepat diatasi dapat menyebabkan pemadaman total yang dapat menimbulkan kerugian yang besar bagi sistem tenaga. Efek negative tersebut antara lain pemanasan pada generator, vibrasi rotor, dan terjadinya eksitasi lebih<sup>[4]</sup>.

### Perhitungan Besar Frekuensi yang Dilepas

Untuk mendapatkan besarnya nilai beban yang harus dilepas, terdapat parameter yang harus ditentukan dengan mempertimbangkan keandalan sistem, yaitu:<sup>[2]</sup>

1. Frekuensi yang diharapkan setelah pelepasan beban.
2. Waktu pemulihan.

Kedua parameter diatas digunakan untuk memperhitungkan nilai laju kenaikan frekuensi yang seharusnya terjadi.<sup>[4]</sup>

$$f_n = f_0 + \frac{df}{dt} t \quad (c)$$

### Perhitungan Beban yang Dilepaskan

Menurut T.S Huutahuruk, perhitungan besar beban yang dilepaskan pada saat penurunan frekuensi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:<sup>[4]</sup>

$$S_1 = S_{g1} \times \frac{f_0^2}{f_1^2} \quad (d) \quad \text{Dimana,}$$

$S_1$  = Daya sisa Generator pada frekuensi yang diharapkan (MW)

$S_{g1}$  = Daya sisa generator (MW)

$f_1$  = Frekuensi acuan pelepasan beban (Hz)

Lalu digunakan persamaan berikut untuk mendapatkan besar beban yang dilepaskan.

$$\Delta S_1 = S_0 - S_1 \tag{e}$$

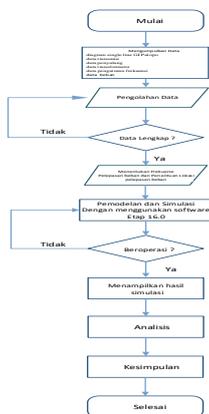
$S_0$  = Total Daya Generator (MW)

$\Delta S_1$  = Besar beban yang dilepaskan (MW)

**METODE**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni pendekatan kuantitatif, dimana pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur, observasi, dan wawancara langsung di kantor ULTG Palopo. Adapun metode analisis perhitungan dan simulasi pelepasan beban di gardu induk menggunakan software ETAP 16.0.

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang dilakukan untuk studi pelepasan beban menggunakan *under frequency relay*.



Gambar 1. *flowchart* penelitian

Pada gambar 1 diatas merupakan flowchart atau diagram alur cara kerja peneliti secara keseluruhan, dimana mulai dari proses pengolahan data hingga pembuatan simulasi pada software ETAP hingga menghasilkan hasil yang diinginkan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bagian ini akan dibahas mengenai simulasi pelepasan beban menggunakan software etap 16.0 dengan fitur *transient stability analysis*. Adapun tahapan pelepasan beban pada gardu induk Palopo yakni sebagai berikut:

1. Tahap 1 = Frekuensi 49.2 – 49.5 Hz
2. Tahap 2 = Frekuensi 49.0 – 49.2 Hz
3. Tahap 3 = Frekuensi 48.8 – 49.0 Hz
4. Tahap 4 = Frekuensi 48.6 – 48.8 Hz
5. Tahap 5 = Frekuensi 48.4 – 48.6 Hz

Tabel 1. Skema Pelepasan Beban UFR Gardu Induk Palopo.

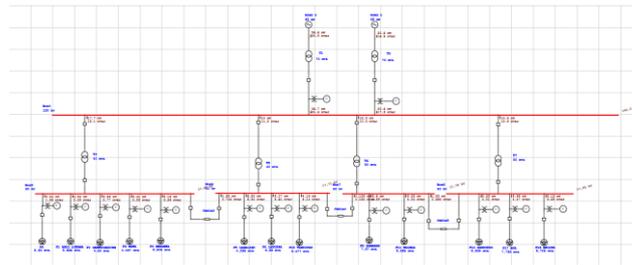
TAHAP	Frekuensi (Hz)	Penyulang yang dilepas
2	48.80	Latuppa
3	48.60	Tandipau
3	48.60	Sampoddo
4	48.40	Sabbang

## Simulasi Kondisi Gangguan

Simulasi dilakukan bertujuan untuk melihat karakteristik sistem tenaga jika terjadi gangguan tertentu. Etap adalah salah satu aplikasi windows yang dapat melakukan simulasi gangguan pada sistem tenaga.

Sebelum melakukan simulasi, hal yang pertama dilakukan membuat *Single Line* Sistem Tenaga Listrik Palopo lengkap dengan komponen-komponen yang ada didalamnya seperti unit pembangkit, saluran transmisi, gardu induk, serta beban sesuai dengan data yang dikumpulkan.

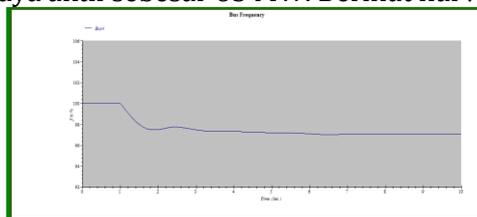
Berikut ini kondisi normal saat belum terjadi gangguan pada Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Palopo 150/20 kV.



Gambar 2 Tampilan Kondisi Normal Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Palopo

### 1. Skenario Generator #Poso2 Lepas

Pada simulasi ini generator yang lepas yakni generator Poso#2, yang mana generator ini pada kondisi normal menghasilkan daya aktif sebesar 65 MW. Berikut kurva yang didapat.

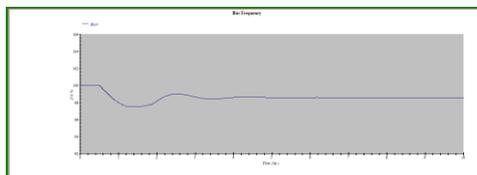


Gambar 3 kurva frekuensi bus pada sistem saat generator lepas

Frekuensi sistem turun hingga mencapai 48.50 Hz pada detik ke 6.8. Berdasarkan gambar di atas diperlukan *load shedding* (pelepasan beban) untuk membuat frekuensi kembali ke posisi normal.

### 2. Skenario Pelepasan Beban dengan Menggunakan *Under Frequency Relay*

Berdasarkan tabel 1 *feeder* yang akan dilepas yakni Latuppa, Tandipau, Sampoddo, dan Sabbang. Berikut kurva yang didapat:



Gambar 4 kurva frekuensi bus pada sistem saat pelepasan beban

Pelepasan beban dilakukan mulai pada frekuensi berada pada nilai 48.50 Hz. Dari simulasi diatas dapat dilihat bahwa frekuensi belum kembali pada kondisi yang stabil, dimana pada saat *feeder* Latuppa, Tandipau, Sabbang, dan Sampoddo yang dilepas frekuensi naik hanya mencapai 49.3 Hz pada detik ke 4.80. Sehingga dapat dikatakan bahwa besar beban yang dilepas tidak mencukupi untuk mengembalikan sistem ke kondisi normal.

Maka dari itu, berikut beberapa perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan data pengaturan *under frequency relay* yang dibutuhkan agar frekuensi stabil kembali seperti semula dengan besar frekuensi sebesar 50 Hz.

Untuk mencari laju penurunan frekuensi akibat gangguan unit pembangkit Poso maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai sebagai berikut.

1. Konstanta inersia sistem dihitung berdasarkan persamaan (b) maka  $H_{system} = 2.51 MW - sec/MVA$ .
2. Daya Generator Lepas ( $\Delta S_g$ ) = 65.0 MW
3. Total Daya Generator ( $S_o$ ) = 130.0 MW
4. Daya Generator Sisa ( $S_{g1}$ ) = 65.0 MW
5. Rating Rata – rata Generator ( $G$ ) = 65.0 MW
6. Kelebihan Beban ( $S_s$ ) = Total beban – Daya Generator Sisa  
= 68.407 MW – 65 MW  
= 3.407 MW

Berdasarkan persamaan (a) maka laju penurunan frekuensi pada Sistem Tenaga Sulawesi Selatan dapat diperoleh cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{df}{dt} &= \frac{S_s}{2GH} \cdot f_o \\ \frac{df}{dt} &= \frac{3.407}{2(65.0)(2.51)} \cdot 50 \\ \frac{df}{dt} &= 0.4669 \text{ Hz/sec} \\ f_1 &= f_o - \left(\frac{df}{dt}\right)_{0-1} \cdot (t - t_0) \\ f_1 &= 50 - (0.4669) \cdot (1 - 0) \\ f_1 &= 49.5331 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Perhitungan waktu pick-up

$$\begin{aligned}t_{pick-up} &= \frac{f_o - f_1}{\frac{df}{dt}} \\ t_{pick-up} &= \frac{50 - 49.5331}{0.4669} \\ t_{pick-up} &= 1 \text{ s}\end{aligned}$$

Perhitungan waktu trip rele

$$\begin{aligned}T_{CB} &= 0.1 \text{ s} \\ T_{Relay} &= 0.05 \text{ s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{trip} &= t_{pick-up} + t_{CB} + t_{Relay} \\ t_{trip} &= 1 \text{ s} + 0.1 \text{ s} + 0.05 \text{ s} \\ t_{trip} &= 1.15 \text{ s}\end{aligned}$$

Frekuensi pelepasan beban

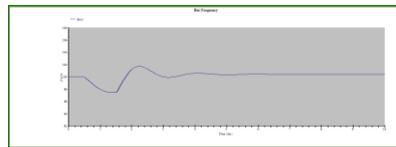
$$\begin{aligned}f_{Loadshedding} &= f_o - \left(\frac{df}{dt} \times t_{trip}\right) \\ f_{Loadshedding} &= 50 - (0.4669 \times 1.15) \\ f_{Loadshedding} &= 49.463 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Perhitungan Besar Beban yang dilepas

Daya Generator Sisa  $S_{g1} = 65 \text{ MW}$

$$S_1 = S_{g1} \times \frac{f_0^2}{f_1^2}$$
$$S_1 = 65 \times \frac{50^2}{49.5331^2}$$
$$S_1 = 66.231 \text{ MW}$$
$$\Delta S_1 = 130.0 - 66.231$$
$$\Delta S_1 = 63.769 \text{ MW}$$

Maka beban yang dilepas sebesar  $63.769 \text{ MW}$ . Setelah perhitungan pelepasan beban telah didapat, maka dilakukan simulasi pelepasan beban. Pelepasan beban dilakukan mulai pada frekuensi berada pada nilai  $48.5 \text{ Hz}$ . Berikut kurva yang didapat.

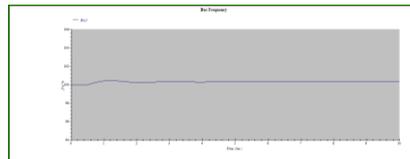


Gambar 5 kurva frekuensi bus pada sistem saat pelepasan beban

Gambar 5 didapatkan hasil respon frekuensi dimana frekuensi turun sampai  $48.5 \text{ Hz}$  pada detik 1 dan frekuensi kembali naik dan konstan pada  $50.2 \text{ Hz}$  pada detik ke 5.59. Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa besar beban yang dilepas mempengaruhi kestabilan frekuensi sistem. Jika beban yang dilepas melebihi dari besar supply yang hilang maka frekuensi akan naik melebihi frekuensi nominal yang diinginkan yaitu sebesar  $50 \text{ Hz}$ .

### 3. Skenario Terlepasnya pada Trafo Distribusi 1

Adapun respon frekuensi bus pada kondisi saat trafo lepas dapat dilihat pada kurva sebagai berikut.

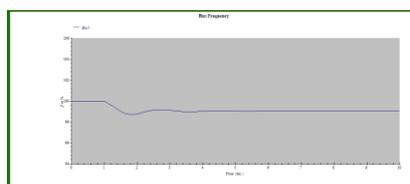


Gambar 6 kurva frekuensi bus pada sistem saat lepasnya trafo 1

Respon bus frekuensi pada sistem saat trafo distribusi 1 sebesar  $40 \text{ MVA}$  lepas dengan total daya generator penyuplai sebesar  $130 \text{ MW}$  yakni frekuensi dari sistem bus  $20 \text{ kV}$  mulai naik pada detik ke 0.5 hingga detik ke 3 besar frekuensi sistem stabil dengan  $50.20 \text{ Hz}$ .

### 4. Skenario Terlepasnya pada Generator Poso#1 & Trafo Distribusi 1

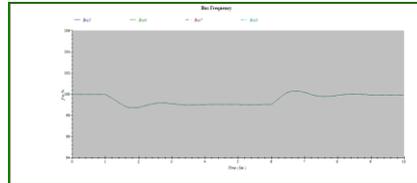
Skenario yang dilakukan yakni terlepasnya generator poso#1 dengan besar daya  $65 \text{ MW}$  dan lepasnya trafo distribusi 1 yang memiliki kapasitas sebesar  $40 \text{ MVA}$ . Dari gambar dapat dilihat frekuensi pada sistem mengalami penurunan. Berikut respon bus frekuensi pada saat kondisi skenario di atas dapat dilihat pada kurva di bawah ini.



Gambar 7 kurva frekuensi bus pada sistem saat lepasnya generator 1 dan trafo 1

Sistem mengalami penurunan frekuensi pada detik ke 1 hingga mencapai 49.5 Hz. Terlepasnya generator membuat sistem kehilangan daya penyuplai sebesar 65 MW ditambah lepasnya trafo membuat sistem pada bus 20 kV mengalami penurunan frekuensi dari frekuensi yang stabil. Karna frekuensi mengalami penurunan hingga 49.5 Hz maka pelepasan beban dapat dilakukan.

Berikut kondisi sistem saat dilakukan pelepasan beban pada *feeder* Latuppa, Lagaligo, dan Tandipau.



Gambar 8 kurva frekuensi bus pada sistem saat pelepasan beban

Pelepasan beban saat frekuensi sistem sebesar 49.5 Hz dan perlahan frekuensi sistem mengalami kenaikan hingga pada detik ke 8 yang membuat frekuensi sistem kembali stabil sebesar 50 Hz. Dengan melakukan pelepasan pada *feeder* Latuppa, Lagaligo, dan Tandipau pada gangguan ini dapat membuat frekuensi kembali stabil.

## PENUTUP

Pada simulasi yang dilakukan respond frekuensi pada saat generator lepas dari sistem mengakibatkan penurunan frekuensi pada sistem. Dimana pada skenario generator #Poso 2 daya generator yang lepas sebesar 65 MW menyebabkan frekuensi sistem turun hingga 48.5 Hz dan skenario generator #Poso1 dan Trafo Distribusi1 yang dilepas secara bersamaan menyebabkan frekuensi menurun hingga 49.3 Hz. Simulasi dengan *software* Etap 16.0 saat sistem mengalami gangguan *under frequency*, UFR segera memutuskan beban dalam waktu 1 detik. Sehingga frekuensi sistem tenaga dapat kembali stabil dalam waktu kurang lebih 4 detik setelah terjadi pelepasan beban.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmadani, Feby. A. (2016). Analisa Pelepasan Beban (Loadshedding) Menggunakan Under Frequency Relay (Ufr) Pada Sistem Tenaga Listrik Gardu Induk Pauh Limo150/20Kv.150.Retrievedfrom[http://Katalog.Pustaka.Unand.Ac.Id/Index.Php?P=Show\\_Detail&Id=116115&Keywords=Pelepasan+Beban](http://Katalog.Pustaka.Unand.Ac.Id/Index.Php?P=Show_Detail&Id=116115&Keywords=Pelepasan+Beban)
- [2] Ikhwan, Hasbar. 2017. Analisis Pelepasan Beban Akibat Penurunan Frekuensi Sistem Tenaga Listrik Sulselbar. (Skripsi). Politeknik Negeri Ujung Pandang 2017.
- [3] Afandi, A. N. (2013). Sistem Tenaga Listrik Operasi Sistem & Pengendalian. ELTEK, Vol 11 Nomor 01, 1–293.
- [4] Nugraheni, Aridan Rudy Setiabudy. 2011. Simulasi Pelepasan Beban dengan Menggunakan Rele Frekuensi pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd. (online).(<http://www.ee.ui.ac.id/online/semtafull/20110706131446-sm7154-tp4-AriNugrahe-Jurnalp.pdf>), diakses 18 desember 2016
- [5] Ariansyah, F. (2016). Analisis Kestabilan Transien dan Pelepasan Beban Pada Sistem Integrasi 33 KV PT. Pertamina RU IV Cilacap akibat Penambahan Beban RFCC dan PLBC. Jurnal Teknik ITS, 5(1), 19–23. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i1.15169>
- [6] rifai, Muhammad ; Satria, Muhammad Hadi, J. M. (2017). Analisis Kestabilan Frekuensi Dan Tegangan Sistem Tenaga Listrik Pt. Aneka Tambang (Persero) Tbk Ubpn Sulawesi Tenggara Tugas. 7(1),4556.Retrievedfrom[http://digilib.unhas.ac.id/uploaded\\_files/temporary/DigitalCollection/OWMxZjE0MzI4M2I3MzczZGIyYWExY2JlOTFjMjA0N2JlMjYzYjdlMw==.pdf](http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/OWMxZjE0MzI4M2I3MzczZGIyYWExY2JlOTFjMjA0N2JlMjYzYjdlMw==.pdf)
- [7] Cahya, Doni Wahyudi Indra, Analisis Kestabilan Transient Dan Pelepasan Beban Saat Terjadi Gangguan Pada Pembangkit Di Ptpn X (Persero) Pg. NgadiredjoKediri.(online).(<https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jurnalteknikelektro/article/download/23111/21154>).Diakses2018.

- [8] Chaerah, G Indar. 2009. Studi Penurunan Frekuensi pada Saat PLTG Sengkang Lepas dari Sistem SULSELTRABAR.(online).(<http://www.unhas.ac.id>), diakses 7 desember 2016.
- [9] Martiningsih, Wahyuni. Pelepasan Beban dengan Under Frequency Relay pada Sistem Distribusi PT. DSSPower.(online).([http://elektro.ub.ac.id/forte/wp-content/uploads/2018/10/A-P060\\_FORTEI-54-58.pdf](http://elektro.ub.ac.id/forte/wp-content/uploads/2018/10/A-P060_FORTEI-54-58.pdf)), diakses 13 oktober 2018.
- [10] Multa, L., & Aridani, R. P. (2013). Modul Pelatihan ETAP. Modul Pelatihan ETAP, 58.