

# ANALISIS STABILITAS TRANSIEN RESPON FREKUENSI DENGAN SKEMA PELEPASAN BEBAN (*LOAD SHEDDING*) DI PT. PETROCHINA INTERNATIONAL JABUNG LTD. MODE BCD3 AKIBAT LEPASNYA SALAH SATU GENERATOR MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Adrian Eko Saputra<sup>\*)</sup>, Hermawan, and Juningtyastuti

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>*E-mail: anadrian994@gmail.com*

## Abstrak

Pada sistem tenaga listrik adanya perubahan beban secara tiba-tiba akan mengakibatkan perubahan kestabilan sistem tersebut. Salah satu penyebab terjadinya perubahan beban secara tiba-tiba adalah karena lepasnya generator yang beroperasi. Adanya perubahan beban tersebut dapat menurunkan frekuensi kerja apabila sudah melebihi kapasitas generator. Apabila penurunan frekuensi tidak segera ditanggulangi maka menyebabkan sistem tersebut mengalami padam total (black out). Salah satu tindakan yang harus dilakukan untuk menanggulangi turunnya frekuensi adalah dengan pelepasan beban (load shedding) yang diharapkan dapat memulihkan frekuensi dengan cepat dan jumlah beban yang dilepaskan seminimal mungkin. Dari hal tersebut maka, pada tugas akhir ini dibuat simulasi di sistem tenaga listrik milik PT. Petrochina International Jabung Ltd. Simulasi yang dibuat dengan menganalisis stabilitas transien respon frekuensi akibat gangguan lepasnya generator. Dari hasil simulasi menggunakan bantuan software ETAP 12.6.0 menunjukkan pada kasus lepasnya generator tanpa pelepasan beban mengakibatkan sistem tidak stabil yang menyebabkan frekuensi terus turun hingga menyebabkan sistem padam total (blackout). Untuk mengembalikan sistem kembali stabil, pada kasus A 3, A 6, dan A 9 diperlukan mekanisme pelepasan beban level 4 dan kasus C 8 dibutuhkan mekanisme pelepasan beban level 2 agar frekuensi kembali stabil masing-masing pada 59,62 Hz, 59,85 Hz, 59,97 Hz, dan 59,73 Hz di detik ke 30s.

*Kata kunci: Stabilitas Transien, Pelepasan Beban, Generator Lepas, Frekuensi*

## Abstract

In electric power system for load changes suddenly will cause changes in stability of system. One of causes of load changes suddenly is due to loss of the generator in operation. The change of load can decrease working frequency when it exceeds capacity of generator. If decrease in frequency is not immediately addressse, it will cause the system to blackout. One of actions that must be taken to cope with decline in frequency is load shedding to recover frequency quickly and the amount of load that is released to minimum. In this paper created a simulation in power system owned by PT. Petrochina International Jabung Ltd. Simulations are made is by analyzing transient stability of release frequency response due to interference generator. From simulation results using software ETAP 12.6.0 shows that in case of loss of generator without load shedding resulting in an unstable system which causes the frequency continues to fall. To restore system back to stability, in case of A 3, A 6 and A 9 needs load shedding level 4 and case C 8 need laod shedding level 2 so that frequency stabilized respectively at 59.62 Hz, 59.85 Hz , 59.97 Hz and 59.73 Hz in 30s.

*Keywords: Transient Stability, Load Shedding, Generator Trip, Frequency*

## 1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem tenaga listrik yang memiliki keandalan tinggi, bersifat ekonomis dan aman. Keandalan yang tinggi dapat ditunjukkan oleh kemampuan dari sistem tersebut mampu menghasilkan dan menyalurkan energi listrik kepada konsumen secara kontinu. Dalam penyediaan energi listrik yang kontinu maka harus didukung

dengan pemakaian dan penyediaan daya listrik yang seimbang dan tentunya dengan infrastruktur yang baik. Keamanan dari sistem tenaga listrik perlu diperhatikan, baik keamanan dari sisi peralatan yang digunakan maupun keamanan dalam penyaluran energi listrik.

Dalam sistem tenaga listrik, dibutuhkan keseimbangan antara daya mekanik dan daya elektrik[1]. Daya mekanik

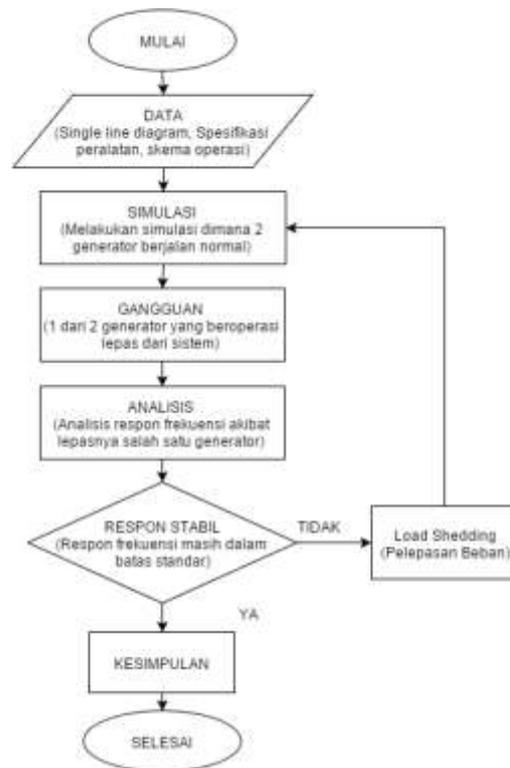
berupa penggerak awal generator (*prime mover*) sedangkan daya elektrik dipengaruhi oleh beban listrik. Setiap perubahan beban listrik harus diikuti dengan perubahan daya mekanik berupa perubahan daya pada penggerak awal (*prime mover*) generator. Jika daya mekanik pada poros penggerak tidak segera menyesuaikan daya elektrik pada beban listrik, maka frekuensi akan turun dari posisi normal dan menyebabkan sistem tidak stabil.

Beberapa kondisi yang menyebabkan sistem menjadi tidak stabil setelah terjadinya gangguan berat, misalnya gangguan sistem transmisi, perubahan beban secara tiba-tiba, terputusnya unit pembangkitan atau *switching* saluran[3]. Penurunan frekuensi yang berkelanjutan akan mengakibatkan pemadaman total (*black out*) pada sistem. Oleh karena itu, perlu tindakan lebih lanjut agar sistem kembali stabil dan bekerja optimal. Salah satu tindakan yang harus dilakukan adalah melakukan pelepasan beban (*load shedding*).

Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dibuat simulasi pada sistem tenaga listrik yang dimiliki oleh PT. Petrochina International pada proyek Betara Complex Development (BCD) yaitu proyek pengembangan minyak dan gas di Kabupaten Betara Provinsi Jambi, Sumatera bagian tengah timur di Indonesia. Betara Complex Development mengoperasikan pembangkit listrik berupa Gas Turbin Generator (GTG) dengan kapasitas 3 x 23,3 MW untuk mendukung proses produksi. Sistem kelistrikan untuk pembangkit ini diimplementasikan sebagai sebuah sistem yang terisolasi yang tidak terhubung ke sistem listrik lainnya[5].

Pada tugas akhir ini penulis membuat simulasi pelepasan beban di sistem tenaga listrik PT. Petrochina International Jabung Ltd. Simulasi yang dilakukan menggunakan program ETAP (*electrical transient analysis power*) 12.6.0 dengan sub program *analysis transient stability* yaitu simulasi untuk mengetahui kestabilan tenaga listrik pada sistem saat terjadi pelepasan beban hingga keadaan sistem kembali normal dengan mengetahui respon frekuensi pada bus utama akibat lepasnya salah satu generator yang beroperasi..

## 2. Metode



Gambar 1. Diagram Alir Analisis Stabilitas Transien dan Load Shedding

### 2.1. Sistem Pembangkit Listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapat tenaga listrik dengan tegangan bolak-balik tiga fasa. Energi mekanik yang diperlukan untuk memutar generator sinkron didapat dari mesin penggerak generator atau biasa disebut penggerak mula (*prime mover*). Jenis-jenis pembangkit tenaga listrik dapat dibagi menjadi :

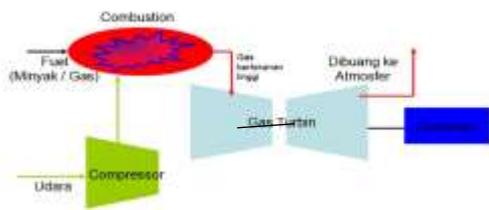
- Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)  
Pada pembangkit listrik ini menggunakan tenaga air sebagai sumber penggerak mulanya.
- Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)  
Pada pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar minyak atau bahan bakar gas sebagai sumber penggerak mulanya.
- Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)  
Pada pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar batu bara, minyak, atau gas sebagai sumber penggerak mulanya.
- Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)  
Pada pembangkit listrik ini menggunakan bahan bakar gas sebagai sumber penggerak mulanya.
- Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)  
Pada pembangkit ini merupakan kombinasi PLTG dengan PLTU. Gas buang dari PLTG dimanfaatkan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap untuk penggerak turbin uap.

- f. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)  
Pada pembangkit ini merupakan PLTU yang tidak mempunyai ketel uap karena uap penggerak turbin uapnya didapat dari dalam bumi.
- g. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)  
Pada pembangkit ini merupakan PLTU yang menggunakan bahan bakar uranium sebagai sumber penggerak mulanya. Uranium menjalani proses *fission* di dalam reactor nuklir yang menghasilkan energy panas yang digunakan untuk menghasilkan uap dalam ketel uap. Uap ini selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap penggerak generator.

**2.2. Mekanisme Kerja PLTG**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan jenis pembangkit listrik yang dikembangkan pada saat sekarang. Dari segi efisiensi pemakaian bahan bakar, unit PLTG tergolong unit termal yang efisiensinya paling rendah, yaitu berkisar antara 15-25%.

Mekanisme kerja PLTG adalah sebagai berikut :



**Gambar 2. Skema Pembangkitan Listrik Tenaga Gas**

Komponen sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) terdiri dari :

- a. Pemampat udara (*compressor*)
- b. Ruang bakar (*combustion Chamber*)
- c. Turbin gas
- d. Generator sinkron

Mula-mula udara masuk ke kompresor untuk dinaikkan tekanannya, kemudian udara tersebut dialirkan ke ruang bakar sehingga menghasilkan gas bersuhu tinggi sampai 1.300°C. Gas hasil pembakaran ini kemudian dialirkan menuju turbin untuk disemprotkan kepada sudu-sudu turbin sehingga energi (*enthalpy*) gas ini dikonversikan menjadi energi listrik mekanik dalam turbin penggerak generator (dan kompresor udara) dan akhirnya generator menghasilkan tenaga listrik. Apabila digunakan bahan bakar gas (BBG), maka dapat langsung dicampur dengan udara untuk dibakar, tetapi apabila digunakan bahan bakar minyak (BBM), maka BBM ini harus dijadikan kabut terlebih dahulu kemudian baru dicampur dengan udara untuk dibakar. Teknik mencampur bahan bakar dengan udara dalam ruang bakar sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran.

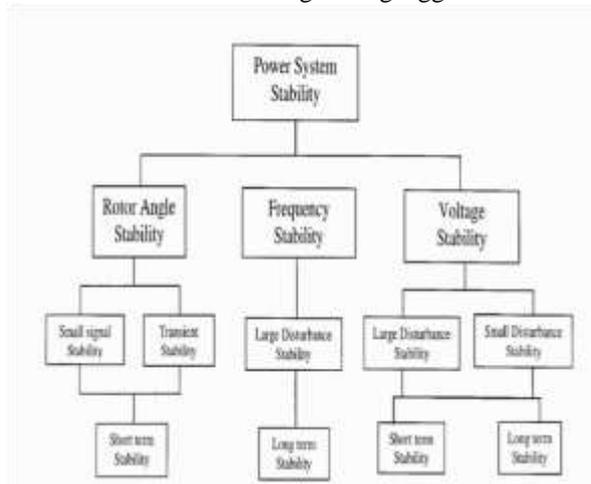
**2.3. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik**

Stabilitas sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai properti dari sistem tenaga yang memungkinkan untuk tetap berada dalam keadaan seimbang dalam kondisi operasi dibawah normal dan dapat kembali mencapai keadaan yang seimbang lagi setelah mengalami gangguan.<sup>[7]</sup> Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memenuhi beberapa syarat yaitu;<sup>[3]</sup>

- a. Reliability adalah: Kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus.
- b. Quality adalah: Kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.
- c. Stability adalah: Kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan.

Menurut IEEE Vol. 19 No. 2 May 2004, kestabilan sistem tenaga secara keseluruhan di bagi menjadi :<sup>[10]</sup>

1. Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari mesin-mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada sistem tenaga listrik untuk menjaga kesinkronan setelah mengalami gangguan.
2. Kestabilan frekuensi (*Frequency Stability*) mengacu pada kemampuan dari sistem tenaga untuk menjaga frekuensi steady setelah mengalami gangguan yang mengakibatkan ketidak seimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban.
3. Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari sistem tenaga untuk menjaga tegangan steady disemua bus dalam sistem setelah mengalami gangguan.



**Gambar 3. Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik**

**2.4. Persamaan Ayunan Generator**

Persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin serempak yang digerakan oleh penggerak mula berdasarkan prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa momen putar percepatan adalah hasil kali dari

momen-momen kelembaman dan percepatan sudutnya. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m - T_e = T_a \quad (4)$$

Dimana:

- J = momen inersia total dari massa rotor (kg-m<sup>2</sup>)
- $\theta_m$  = pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (rad)
- t = waktu (Detik)
- T<sub>m</sub> = torsi mekanik dari penggerak mula (Nm)
- T<sub>e</sub> = torsi listrik output generator (Nm)
- T<sub>a</sub> = torsi percepatan bersih (Nm)

Dari persamaan ayunan generator dapat dihasilkan rumus untuk menghitung laju penurunan frekuensi yang persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

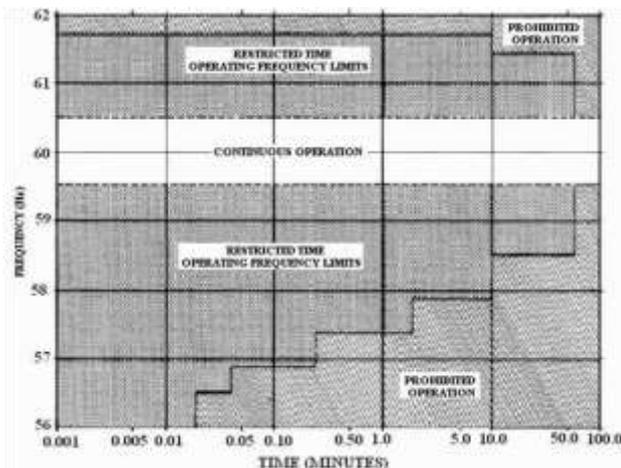
$$\frac{df}{dt} = \left( \frac{P_A}{2GH} \right) \times f_o \quad (5)$$

Dimana :

- df/dt = laju penurunan frekuensi (Hz/s)
- P<sub>A</sub> = Selisih permintaan beban dan daya yang disuplai generator (W)
- G = Rating MVA generator (MVA)
- H = Konstanta Inertia (MJ/MVA)
- f<sub>o</sub> = Frekuensi saat terjadi gangguan (Hz)

### 2.5. Standar Frekuensi Kerja Generator

Batas nilai underfrequency yang diijinkan berdasarkan IEEE C37.106-2003 pada area yang polos dengan batas antara 59.5 Hz (99.16%) dan 60.5 Hz (100.8%) merupakan batas daerah yang masih diijinkan suatu pembangkit beroperasi, selanjutnya daerah diatas 60.5 (103%) dan di bawah 59.5 (96.6%) disebut sebagai restricted time operating frequency limits. Gambar 2 berikut menunjukkan batas frekuensi kerja suatu pembangkit berdasarkan IEEE C37.1062003.



Gambar 4. Batas frekuensi kerja pada pembangkit

## 3. Hasil dan Pembahasan

Mensimulasikan stabilitas transien dan efektifitas *load shedding* ketika terjadi gangguan 1 dari 3 generator lepas dengan A.G.C di Gemah dan NEB tetap beroperasi pada kondisi normal yaitu :

1. Kasus A 3
2. Kasus A 3 *Load Shedding*
3. Kasus A 6
4. Kasus A 6 *Load Shedding*
5. Kasus A 9
6. Kasus A 9 *Load Shedding*

### 3.1. Kasus A 3 Tanpa *Load Shedding*

Tabel 1. Hasil Simulasi Respon Sistem Tenaga Listrik pada Kasus A 3

Kondisi	Sebelum	Setelah
Beban per GTG	13865 kW	27730 kW
Variation	-	13865 kW
Frekuensi Bus Utama	60 Hz	59,26 Hz



Gambar 5. Respon Frekuensi Simulasi Pelepasan Beban Kasus A 3 Tanpa *Load Shedding*

Dari gambar 5 diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil melihat respon frekuensi yang terus turun hingga mencapai titik nol pada t = 13,690s sehingga harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.

### 3.2. Kasus A 3 *Load Shedding*

Tabel 2. Hasil Simulasi Respon Sistem Tenaga Listrik pada Kasus A 3 *Load Shedding* Level 4

Kondisi	Tanpa <i>Load Shedding</i>	Dengan <i>Load Shedding</i>
Beban per GTG	27730 kW	19041 kW
Variation	13865 kW	5176 kW
Frekuensi Bus Utama	59,26 Hz	59,54 Hz



Gambar 6. Respon Frekuensi Simulasi Pelepasan Beban Kasus A 3 Dengan Load Shedding

Setelah dilakukan *load shedding* pada Gambar 6 respon frekuensi sudah mampu kembali ke posisi stabil yaitu 59,62 Hz pada detik ke 30s. Grafik laju penurunan frekuensi antara sebelum di *load shedding* ditunjukkan dengan garis biru, grafik setelah *load shedding* level 1 ditunjukkan oleh garis kuning, grafik setelah *load shedding* level 2 ditunjukkan oleh garis abu-abu, grafik setelah *load shedding* level 3 ditunjukkan oleh garis warna orange, dan grafik setelah *load shedding* level 4 ditunjukkan oleh garis warna hijau. Pada *load shedding* level 4 ini frekuensi sudah bisa dikatakan kembali ke posisi stabil karena sudah berada pada atas yang diijinkan yaitu 59,5 – 60,5 Hz.

3.3. Perhitungan Laju Frekuensi dan Jumlah Beban yang Dilepas pada Kasus A3

Tabel 3. Hasil Perhitungan Laju Penurunan Frekuensi dan Beban yang Dilepas

Total Beban (MW)	P Hitung (MW)	P Simulasi (MW)	df/dt (Hz/s)
27,73	8,884	8,689	0,664

Dari Tabel 3 diatas didapatkan laju penurunan frekuensi sebesar 0,664 Hz/s dan nilai beban yang harus dilepaskan sesuai hasil perhitungan sebesar 8,84 MW. Sedangkan total beban yang dilepaskan pada simulai A 3 menggunakan ETAP 12.6.0 adalah sebesar 8,689 MW. Terdapat adanya perbedaan antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi. Pelepasan beban bagi perusahaan minyak dan gas adalah suatu hal yang sangat dihindari. Hal ini berkaitan dengan penurunan jumlah produksi dan kerugian yang cukup besar yang akan dialami perusahaan. Ketika terjadi penurunan frekuensi akibat beban lebih perlu dilakukan suatu pelepasan beban agar sistem tenaga listrik dapat kembali normal atau stabil. Oleh karena itu pelepasan beban harus dirancang seminimal mungkin.

3.4. Kasus A 6 Tanpa Load Shedding

Tabel 4. Hasil Simulasi Respon Sistem Tenaga Listrik pada Kasus A 6

Kondisi	Sebelum	Setelah
Beban per GTG	18007 kW	36014 kW
Variation	-	18007 kW
Frekuensi Bus Utama	60 Hz	59,04 Hz



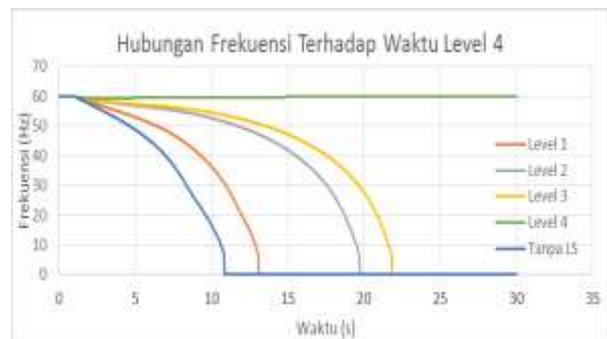
Gambar 7. Respon Frekuensi Simulasi Pelepasan Beban Kasus A 6 Tanpa Load Shedding

Dari gambar 7 diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil melihat respon frekuensi yang terus turun hingga mencapai titik nol pada t = 10,87s sehingga harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.

3.5. Kasus A 6 Load Shedding

Tabel 5. Hasil Simulasi Respon Sistem Tenaga Listrik pada Kasus A 3 Load Shedding Level 4

Kondisi	Tanpa Load Shedding	Dengan Load Shedding
Beban per GTG	27730 kW	20771 kW
Variation	13865 kW	2724 kW
Frekuensi Bus Utama	59,26 Hz	59,52 Hz



Gambar 8. Respon Frekuensi Simulasi Pelepasan Beban Kasus A 3 Dengan Load Shedding

Setelah dilakukan simulasi *load shedding* level 4 pada gambar 8 respon frekuensi sudah mampu kembali ke posisi stabil yaitu 59,85 Hz pada detik ke 30s. Grafik laju penurunan frekuensi sebelum di *load shedding* ditunjukkan dengan garis biru, grafik setelah *load shedding* level 1 ditunjukkan oleh garis orange, grafik setelah *load shedding* level 2 ditunjukkan oleh garis abu-abu, grafik setelah *load shedding* level 3 ditunjukkan oleh garis warna kuning, dan grafik setelah *load shedding* level 4 ditunjukkan oleh garis warna hijau. Pada *load shedding* level 4 ini frekuensi sudah bisa dikatakan kembali ke posisi stabil karena sudah diatas batas yang diijinkan yaitu 59,5 – 60,5 Hz.

**3.6. Perhitungan Laju Frekuensi dan Jumlah Beban yang Dilepas pada Kasus A6**

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Laju Penurunan Frekuensi dan Beban yang Dilepas**

Total Beban (MW)	P Hitung (MW)	P Simulasi (MW)	df/dt (Hz/s)
36,014	25,515	15,243	1,904

Dari tabel 6 diatas didapatkan laju penurunan frekuensi sebesar 1,904 Hz/s dan nilai beban yang harus dilepaskan sesuai hasil perhitungan sebesar 25,515 MW. Dari hasil simulasi total beban yang dilepaskan pada simulai A 6 menggunakan ETAP 12.6.0 adalah sebesar 15,243 MW. Terdapat adanya perbedaan jumlah beban yang dilepas dari hasil perhitungan dengan hasil simulasi. Pelepasan beban bagi perusahaan minyak dan gas adalah suatu hal yang sangat dihindari. Hal ini berkaitan dengan penurunan jumlah produksi dan kerugian yang cukup besar yang akan dialami perusahaan. Ketika terjadi penurunan frekuensi akibat beban lebih perlu dilakukan suatu pelepasan beban agar sistem tenaga listrik dapat kembali normal atau stabil. Oleh karena itu pelepasan beban harus dirancang seminimal mungkin.

**3.7. Kasus A 9 Tanpa Load Shedding**

**Tabel 7. Hasil Simulasi Respon Sistem Tenaga Listrik pada Kasus A 6**

Kondisi	Sebelum	Setelah
Beban per GTG	20787 kW	41574 kW
Variation	-	20787 kW
Frekuensi Bus Utama	60 Hz	58,94 Hz



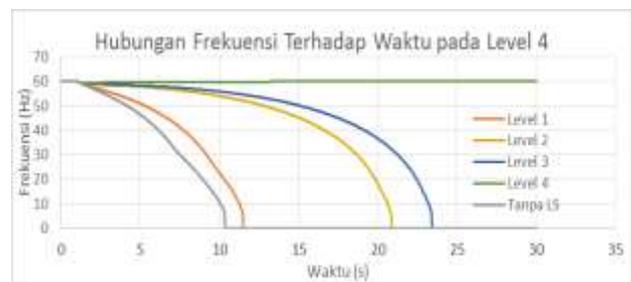
**Gambar 9. Respon Frekuensi Simulasi Pelepasan Beban Kasus A 6 Tanpa Load Shedding**

Dari gambar 9 diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak stabil melihat respon frekuensi yang terus turun hingga mencapai titik nol pada t = 10,35s sehingga harus dilakukan mekanisme pelepasan beban untuk mempertahankan kestabilan sistem.

**3.8. Kasus A 9 Load Shedding**

**Tabel 8. Hasil Simulasi Respon Sistem Tenaga Listrik pada Kasus A 3 Load Shedding Level 4**

Kondisi	Tanpa Load Shedding	Dengan Load Shedding
Beban per GTG	41574 kW	20771 kW
Variation	20787 kW	-16 kW
Frekuensi Bus Utama	58,94 Hz	59,52 Hz



**Gambar 10. Respon Frekuensi Simulasi Pelepasan Beban Kasus A 3 Dengan Load Shedding**

Setelah dilakukan simulasi *load shedding* level 4 pada Gambar 10 respon frekuensi sudah mampu kembali ke posisi stabil yaitu 59,97 Hz pada detik ke 30s. Laju penurunan frekuensi sebelum di *load shedding* ditunjukkan dengan garis abu-abu, setelah *load shedding* level 1 ditunjukkan oleh garis orange, setelah *load shedding* level 2 ditunjukkan oleh garis kuning, setelah *load shedding* level 3 ditunjukkan oleh garis warna biru, setelah *load shedding* level 4 ditunjukkan oleh garis warna hijau. Pada *load shedding* level 4 ini frekuensi sudah bisa dikatakan kembali ke posisi stabil karena sudah berada pada batas yang diijinkan yaitu 59,5 – 60,5 Hz.

**3.9. Perhitungan Laju Frekuensi dan Jumlah Beban yang Dilepas pada Kasus A9**

**Tabel 9. Hasil Perhitungan Laju Penurunan Frekuensi dan Beban yang Dilepas**

Total Beban (MW)	P Hitung (MW)	P Simulasi (MW)	df/dt (Hz/s)
41,574	36,689	20,803	2,737

Dari tabel 9 diatas didapatkan laju penurunan frekuensi sebesar 2,737 Hz/s dan nilai beban yang harus dilepaskan sesuai hasil perhitungan sebesar 36,689 MW. Dari hasil simulasi total beban yang dilepaskan pada simulai A 6 menggunakan ETAP 12.6.0 adalah sebesar 20,803 MW. Terdapat adanya perbedaan jumlah beban yang dilepas dari hasil perhitungan dengan hasil simulasi. Pelepasan

beban bagi perusahaan minyak dan gas adalah suatu hal yang sangat dihindari. Hal ini berkaitan dengan penurunan jumlah produksi dan kerugian yang cukup besar yang akan dialami perusahaan. Ketika terjadi penurunan frekuensi akibat beban lebih perlu dilakukan suatu pelepasan beban agar sistem tenaga listrik dapat kembali normal atau stabil. Oleh karena itu pelepasan beban harus dirancang seminimal mungkin.

#### 4. Kesimpulan

1. Pada kasus lepasnya generator GTG-B pada kasus A 3, A 6 dan A 9 menyebabkan respon frekuensi tidak mampu mencapai kondisi stabil sampai sistem mengalami pemadaman total (*blackout*) sehingga perlu diperlukan proses *load shedding* untuk mengembalikan sistem ke kondisi stabil.
2. Pada kasus A 3 diperlukan mekanisme *load shedding* level 4 dengan total beban yang dilepas sebesar 8,68MW, dan hasilnya frekuensi dapat kembali ke kondisi stabil sebesar 59,62Hz di detik 30s.
3. Pada kasus A 6 diperlukan mekanisme *load shedding* level 4 dengan total beban yang dilepas sebesar 15,24MW, dan hasilnya frekuensi dapat kembali ke kondisi stabil sebesar 59,85Hz di detik 30s.
4. Pada kasus A 9 diperlukan mekanisme *load shedding* level 4 dengan total beban yang dilepas sebesar 20,8MW, dan hasilnya frekuensi dapat kembali ke kondisi stabil sebesar 59,97Hz di detik 30s.
5. Berdasarkan hasil perhitungan jika variasi kenaikan beban GTG melebihi nilai diatas 25% dari kondisi normal atau sebesar 5800 kW, maka sistem dalam kondisi tidak stabil maka perlu dilakukan *load shedding* untuk mengembalikan sistem ke kondisi stabil.
6. Pada kasus A 3 hasil perhitungan beban yang harus dilepas sebesar 8.8MW, sedangkan hasil simulasi beban yang dilepaskan sebesar 8.68MW.
7. Pada kasus A 6 hasil perhitungan beban yang harus dilepas sebesar 25,51MW, sedangkan hasil simulasi beban yang dilepaskan sebesar 15,24MW.
8. Pada kasus A 9 hasil perhitungan beban yang harus dilepas sebesar 36,6MW, sedangkan hasil simulasi beban yang dilepaskan sebesar 20,8MW.

#### Referensi

- [1]. Penangsang, Ontoseno. "Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2 " Jurusan Teknik Elektro, ITS ,Surabaya, 2010
- [2]. B A, Chicho Hermanu,"Analisis Stabilitas Transient di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang Akibat Penggantian Sebuah Unit Pembangkit GTG 18MW Menjadi STG 32MW", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- [3]. John J. Grainger and Stevenson, William D, Jr.,1990," Power System Analysis", McGraw Hill, Inc.
- [4]. Khisbullah Wijaya, Priyadi Ardyono, Ontoseno,"Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban di Perusahaan Minyak Nabati". Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.
- [5]. Hiroo Tsuruta, Shunichi Hirose, Nobuyuki Shinohara, "H-25 Gas Turbines for Petrochina's Gas Processing Plant in Indonesia", Hitachi Review Vol. 55, 2006.
- [6]. Marsudi, Djiteng, 2011, "Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua", Jakarta : Erlangga.
- [7]. Kundur, Prabha. "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc, 1994
- [8]. Kundur P. Pasherba J, Ajarapu," Defenition and classification of power system stability ". IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 19 No. 2, May 2004
- [9]. Swaroop Kumar Nallagalva, Mukesh Kumar Kirar, and Dr.Ganga Agnihotri, "Transient Stability Analysis of the IEEE 9 Bus Electric Power System", IJEST Journal, Vol. No.1, Issue No. 3, pp. 161-166, July 2012.
- [10]. IEEE Std. C37.106TM-2003, "IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants".
- [11]. Sulasno, "Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan". Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [12]. Marsudi, Djiteng, 2006, "Operasi Sistem Tenaga Listrik", Yogyakarta :Graha Ilmu.
- [13]. Shervin Shokooh ,Tanuj Khandelwal, Dr. Farrokh Shokooh , Jacques Tastet, Dr. JJ Dai "Intelligent Load Shedding Need for a Fast and Optimal Solution", IEEE, PCIC, Europe 2005.
- [14]. Help ETAP
- [15]. Nugroho, Aryo, "Analisa Transient Stability dan Pelepasan Beban Pengembangan Sistem Integrasi 33kV di PT. Pertamina RU IV Cilacap", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,2011
- [16]. Avenue, Anderson, "Load Shedding, Load Restoration and Generator Protection Using Solid State and Electro Mechanical UFR"
- [17]. Juan M. Gers and Edward J. Holmes, "Protection of Electricity Distribution Network" 2<sup>nd</sup> Edition, 2004
- [18]. Parohon, Rio, "Analisa Kestabilan Transient dan Pelepasan Pembangkit dan Beban (*Generation/Load Shedding*) Pada Sistem Jaringan Distribusi Tragi Sibolga 150/20 kV (Studi Kasus Pada Penyulang Tragi Sibolga, SUMUT)", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang 2013
- [19]. Nugraheni, Ari, "Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd", Depok: Teknik Elektro Fakultas Teknik UI, 2011.
- [20]. Resnick, Halliday, "Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga" Erlangga
- [21]. Tipler, "Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1" Erlangga