

**SKRIPSI**

**STUDI STATIC UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING AKIBAT KONDISI  
TRANSIENT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK**



**Disusun oleh :**

**AGA DIA PRIASMORO**

**NIM. 1312023**

**PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2017**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**STUDI STATIC UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING AKIBAT KONDISI  
TRANSIENT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK**

**SKRIPSI**

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan  
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*

**Disusun oleh :**

**AGA DIA PRIASMORO**

**NIM : 1312023**

**Diperiksa dan disetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**



**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**  
**NIP. Y. 1018500108**

**Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT**  
**NIP. 197706152005012002**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1**



**Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT**  
**NIP. 197706152005012002**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2017**

## ABSTRAK

### STUDI STATIC UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING AKIBAT KONDISI TRANSIENT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK

Aga Dia Priasmoro, NIM : 1312023

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

Dosen Pembimbing II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT

*Suplai daya listrik pada pembangkit harus sama seiring dengan daya beban pada suatu sistem tenaga listrik. Munculnya gangguan pada sistem dapat mengakibatkan sistem mudah mengalami perubahan kearah transient. Salah satu gangguan yang dapat terjadi pada suatu sistem tenaga adalah lepas pembangkit, dimana akibat dari gangguan ini menyebabkan ketidakseimbangan daya pada sisi pembangkitan dan sisi beban sehingga berdampak pada penurunan frekuensi. Static under-frequency load shedding bertujuan mengembalikan nilai frekuensi kembali ke nilai yang diizinkan setelah terjadinya gaggguan diatas. Analisa ini dilakukan pada sistem kelistrikan PT. PETROKIMIA GRESIK, dimana gangguan lepasnya generator terjadi akibat short circuit tiga fasa pada bus petrokimia. Pada saat terjadinya gangguan tiga fasa pada bus petrokimia frekuensi naik mencapai 52,85 Hz.. Pada skenario 1 setelah dilakukan pelepasan pembangkit PLN frekuensi turun menjadi 48,74 Hz, sedangkan pada skenario 2 dimana PLN dan GTG lepas frekuensi turun menjadi 41,75 Hz. Akibat lepasnya generator yang mangakibatkan penurunan frekuensi dilakukanlah load shedding, dimana berdasarkan perhitungan didapat waktu load shedding pada detik ke 2,44 dengan jumlah beban yang dilepas sebesar 8,429 MW untuk skenario 1, sedangkan pada skenario 2 load shedding dilakukan pada detik ke 2,050 dengan jumlah beban yang dilepas adalah sebesar 33,528 MW. Setelah dilakukan load shedding frekuensi sistem yang mulanya turun 48,70 Hz naik menjadi 49,5 Hz dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar 1,53 %, sedangkan pada skenario 2 frekuensi sistem yang mulanya 41,75 Hz naik menjadi 48,1 Hz dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar 15,20 %.*

Kata Kunci: *Ketidakseimbangan Daya, Frekuensi, Static Under-frequency Load Shedding.*

## ABSTRACT

### STUDY OF STATIC UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING CAUSED OF TRANSIENT CONDITIONS AT PT. PETROKIMIA GRESIK ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Aga Dia Priasmoro, NIM : 1312023

Supervising Lecturer I : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

Supervising Lecturer II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT

*The power supply at the power plant has to be the same as the load on a power system. The emergence of disturbances in the system leads to the system easily towards transient. One of the disturbances occurred in a power system is the lost of power plant. This disturbance causes imbalance problems either in generator and load side, it caused decreasing frequency. Static under-frequency load shedding aims to return the frequency value back to the allowed value after the occurrence of the above disturbance. The analysis has been done on the electrical system of PT. PETROKIMIA GRESIK, where the lost of generator occurs due to a three-phase short circuit on the petrochemical bus 150 KV. At the time of disturbance in three phase of Petrokimia bus the frequency is raising up to 52,85Hz. In the first scenario where the power plant is release the frequency decrease up to 48,74 Hz, while in the second scenario where both PLN and GTG have released the frequency dropped up to 41,75Hz. Due to the frequency is decreasing while the generator is off. Therefore, load shedding is necessary. Based on the calculation in load shedding time on 2,44 seconds with the total load released is 8,429 MW in the first scenario. While in the second scenario the load shedding at 2.050 seconds. the total load need to shed is 33,528 MW. Where the load shedding is done the frequency has initially decreased to 48.70 Hz then increasing to 49,57 Hz with the percentage of rising frequency of 1.53%, whereas in the second case the frequency of a system is rising from 41,75 Hz to be 48,1 Hz with 15,20% of the rising percentage.*

**Keywords:** *Unbalance power, Fequency, Static Under-frequency Load Shedding.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat, taufik dan hidayah-Nya lah skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi berjudul “Studi Static Under-Frequency Load Shedding Akibat Kondisi Transient Pada Sistem Kelistrikan PT. PETROKIMIA GRESIK” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada

1. Ibuku tercinta Rini Yulianti Widyastuti, kakakku yang tersayang Judis Priastono Utama dan Rian Respati Andarini serta seluruh keluarga besar, atas segala nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Energi Listrik Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang,
3. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE dan Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II, atas segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan,
5. Bapak Haidar Ismail selaku pembimbing lapangan di PT. PETROKIMIA GRESIK.
6. Sahabat karibku, Yoppi Kurnia .P, Fajrian Hayyu .A, Aziz .N, Fandi Juli .W, atas dukungan serta semangat yang diberikan pada penulis selama pengerjaan skripsi ini,
7. Rekan dalam pengerjaan skripsi, Aziz .N, Angga Budi .P, Khaikal .M.R atas segala bantuan serta saran dan masukannya,
8. Teman-teman Laboratorium Konversi Energi Elektrik, teman-teman di kelembagaan, senior serta semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis

untuk mencantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada laporan skripsi ini, oleh karena itu mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat.

Malang, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Detail Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Operasi Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Kestabilan Frekuensi .....	6
2.2 Jenis – Jenis Beban .....	6
2.2.1 Beban Resistif.....	6
2.2.2 Beban Induktif .....	7
2.2.3 Beban Kapasitif .....	7
2.3 Hubungan Frekuensi dengan Daya Aktif.....	8
2.4 <i>Load Shedding</i> .....	10
2.5 <i>Static Under Frequency Load Shedding</i> .....	13
2.5.1 Prioritas Beban yang Dilepaskan.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	17
3.1 Sistem Kelistrikan PT Petrokimia Gresik.....	17
3.2 <i>Software ETAP Power Station</i> .....	17
3.3 Algoritma Simulasi Pada <i>Software ETAP Power Station</i> .....	19
3.3.1 Algoritma Pelepasan Beban Menggunakan Static UFLS .....	19
3.4 Flowchart Simulasi Pada <i>Software ETAP power station</i> .....	20
3.4.1 Flowchart Simulasi Pelepasan Beban .....	21

3.5 Data – Data Sistem Kelistrikan Petrokimia Gresik .....	22
3.6 Pemodelan <i>Single Line</i> Diagram dan <i>Input</i> Data Sistem PT PETROKIMIA GRESIK pada ETAP.....	30
3.6.1 Input Data Sumber.....	31
3.6.2 Input Data Transformator .....	32
3.6.3 Input Data Beban .....	32
3.6.3 Input Data Saluran .....	33
<b>BAB IV ANALISIS HASIL .....</b>	<b>34</b>
4.1 Sistem IEEE 9 BUS .....	34
4.1.1 Simulasi dan Analisa .....	35
4.2 Sistem PT. PETROKIMIA GRESIK.....	38
4.2.1 Simulasi Sistem Keadaan Normal .....	40
4.2.2 Gangguan Tiga Fasa Pada Sistem.....	41
4.2.3 Skenario 1 .....	43
4.2.3.1 <i>Static Under-Frequency Load Shedding</i> .....	44
4.2.3 Skenario 2 .....	48
4.2.4.1 <i>Static Under-Frequency Load Shedding</i> .....	49
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Vektor dan Gelombang Sinusoidal Arus Beserta Tegangan dengan Beban Resistif .....	7
Gambar 2.2 Diagram Vektor dan Gelombang Sinusoidal Arus Beserta Tegangan dengan Beban Induktif .....	7
Gambar 2.3 Diagram Vektor dan Gelombang Sinusoidal Arus Beserta Tegangan dengan Beban Kapasitif.....	8
Gambar 2.4 <i>Power System Model</i> .....	9
Gambar 2.5 Penurunan Frekuensi dan <i>Load shedding</i> .....	12
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah .....	20
Gambar 3.2 <i>Flowchart Static Under-Frequency Load Shedding</i> .....	21
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Sistem PT. PETROKIMIA Gresik .....	31
Gambar 3.4 Tampilan Input Data Sumber Generator.....	31
Gambar 3.5 Tampilan Input Data <i>Transformer</i> .....	32
Gambar 3.6 Tampilan Input Data Beban Lumped dan Motor Induksi.....	32
Gambar 3.7 Tampilan Input Data Saluran .....	33
Gambar 4.1 <i>Single Line</i> Sistem <i>IEEE 9 BUS</i> .....	34
Gambar 4.2 Respon Frekuensi Saat <i>Short Circuit</i> 3 fasa .....	35
Gambar 4.3 Respon Tegangan Saat <i>Short Circuit</i> 3 fasa .....	36
Gambar 4.4 Respon Frekuensi Saat G3 lepas.....	36
Gambar 4.5 Respon Frekuensi Sebelum dan Sesudah <i>Load shedding</i> .....	37
Gambar 4.6 <i>Single Line</i> Petrokimia Gresik .....	38
Gambar 4.7 <i>Single line</i> Petrokimia Gresik pada <i>software ETAP Power Station</i> .....	39
Gambar 4.8 Respon Frekuensi Saat Kondisi Sistem Normal .....	40
Gambar 4.9 Respon Tegangan Saat Kondisi Sistem Normal .....	41
Gambar 4.10 Respon Frekuensi Saat <i>Short Circuit</i> 3 fasa .....	42
Gambar 4.11 Respon Frekuensi Saat PLN lepas .....	43
Gambar 4.12 Respon Frekuensi Setelah <i>Load shedding</i> .....	47
Gambar 4.13 Respon Frekuensi Saat GTG dan PLN Lepas dari Sistem (t=1,9 sec).....	49
Gambar 4.14 Respon Frekuensi Setelah <i>Load Shedding</i> .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kondisi Frekuensi Sistem Tenaga Pada Tiga Kombinasi Pembangkitan dan Permintaan .....	6
Tabel 2.2 Batas Tegangan yang Diizinkan .....	13
Tabel 3.1 Data Pembangkit di PT. Petrokimia Gresik.....	22
Tabel 3.2 Data Transformator di PT. Petrokimia Gresik.....	22
Tabel 3.3 Data Beban di PT. Petrokimia Gresik.....	23
Tabel 3.4 Data Saluran di PT. Petrokimia Gresik.....	25
Tabel 3.5 Data Kapasitor di PT. Petrokimia Gresik .....	26
Tabel 3.6 Data Reaktor di PT. Petrokimia Gresik .....	26
Tabel 3.7 Data Skala Prioritas Beban Berdasarkan Urutan Beban Penting di PT Petrokimia Gresik .....	27
Tabel 4.1 Data Pembangkitan dan Beban Dari IEEE 9 Bus System.....	35
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Static UFLS.....	37
Tabel 4.3 Data Total Pembangkitan Dan Beban Setelah <i>Running Load Flow</i> .....	39
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Sistem Keadaan Normal.....	40
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Sistem Saat <i>Short Circuit</i> 3 Fasa.....	42
Tabel 4.6 Skenario Pelepasan Breaker Pengaman akibat <i>Short Circuit</i> 3 Fasa.....	43
Tabel 4.7 Hasil Simulasi Saat PLN Lepas Pada Tiap Main Bus .....	44
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Static UFLS.....	45
Tabel 4.9 Data Pelepasan Beban dan Perhitungan Setelah Simulasi.....	46
Tabel 4.10 Kondisi Frekuensi Sebelum dan Sesudah <i>Load shedding</i> .....	47
Tabel 4.11 Kondisi Tegangan Sebelum dan Sesudah <i>Load shedding</i> .....	48
Tabel 4.12 Hasil Simulasi Saat Kondisi PLN dan GTG Lepas .....	49
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Static UFLS.....	50
Tabel 4.14 Data Pelepasan Beban dan Perhitungan Setelah Simulasi.....	51
Tabel 4.15 Kondisi Frekuensi Sebelum dan Sesudah <i>Load shedding</i> .....	53
Tabel 4.16 Kondisi Tegangan Sebelum dan Sesudah <i>Load shedding</i> .....	53

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya industri maka kebutuhan akan sumber daya listrik juga akan meningkat, sehingga diharapkan kebutuhan daya listrik dapat tersalurkan secara terus - menerus dan stabil. Hal ini sangat penting karena jika sumber daya listrik tercukupi maka proses produksi dalam suatu industri pun akan berjalan lancar sehingga efektivitas dari segi waktu dan biaya pun dapat terpenuhi sesuai target. Suplai energi listrik pada sisi pembangkit harus lebih besar atau sama dengan jumlah beban pada suatu sistem ditambah rugi – rugi daya sistem, artinya besarnya daya yang dibangkitkan harus sama dengan daya yang diminta pada kondisi apapun<sup>[1]</sup>. Munculnya gangguan pada sistem dapat mengakibatkan sistem mudah mengalami perubahan kearah transient. Gangguan 3 fasa menjadi gangguan yang sering terjadi dan digunakan untuk kajian simulasi pada sistem guna mengetahui keandalan sistem<sup>[2]</sup>. Akibat dari gangguan ini akan mengakibatkan breaker pengaman sistem pada kondisi terbuka, melokalisir gangguan yang ada. Apabila gangguan yang terjadi berasal dari dekat pembangkit akan mengakibatkan *breaker – breaker* pengaman dekat pembangkit bekerja. Kondisi ini akan mengakibatkan penurunan suplai energi listrik dari pembangkit ke beban. Ketidakseimbangan ini akan mengakibatkan sistem mengalami kondisi transient dan rentan mengalami pemadaman total.

Ketidakseimbangan daya yang terjadi pada sisi pembangkitan dan sisi konsumen akan direspon dengan menurunnya frekuensi sistem. Kondisi frekuensi sistem yang buruk akan membuat sistem pada kondisi *collapse* apabila tidak segera ditangani<sup>[1]</sup>. Penggunaan *static algorithm load shedding* ini dapat digunakan untuk melakukan pendekatan mengenai jumlah beban yang akan dilepas yang bertujuan untuk menaikkan kembali frekuensi dengan memperhatikan rata –rata laju penurunan frekuensi sistem akibat gangguan dimana cara melepas beban pada sistem dapat dilakukan oleh *underfrequency relay*<sup>[3]</sup> atau secara manual melalui *operator station* yang memutuskan langsung melalui breaker.

*Study static load shedding* diperlukan untuk mengembalikan frekuensi sistem kembali dalam batas nilai aman atau diizinkan. Studi *load shedding* di PT. Petrokimia Gresik dilakukan dengan memperhatikan main bus, yang meliputi parameter frekuensi akibat kondisi *transient* yang disebabkan adanya gangguan *short circuit* tiga fasa

sehingga harus melepas salah satu unit pembangkit. Akibat lepasnya pembangkit menyebabkan sistem mengalami ketidakseimbangan daya sehingga direspon dengan penurunan frekuensi untuk itu diperlukan *load shedding* guna menaikkan kembali nilai frekuensi. Dalam melakukan *load shedding* hendaknya pelepasan beban dilakukan dengan memperhatikan faktor skala prioritas beban sehingga diharapkan beban – beban yang memiliki prioritas tinggi untuk tidak dilepas atau jika memang harus dilepas maka dilepas pada urutan terakhir.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana respon frekuensi kondisi *transient* pada kasus lepasnya pembangkit dari sistem akibat adanya gangguan tiga fasa ?.
2. Bagaimana cara mengembalikan nilai frekuensi ke nilai yang diizinkan dengan menggunakan metode *static under-frequency load shedding* ?.
3. Bagaimana respon frekuensi setelah dilakukan *static under-frequency load shedding* setelah pembangkit lepas dari sistem ?.

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan diatas, maka tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui respon frekuensi pada kasus *short circuit* tiga fasa yang mengakibatkan pembangkit lepas dari sistem.
2. *Static load shedding* untuk mengembalikan nilai frekuensi sehingga berada pada nilai yang diizinkan.
3. Untuk mengetahui respon dan nilai frekuensi setelah dilakukanya pelepasan beban.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak menyimpang dari pokok perumusan masalah dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Sistem kelistrikan yang akan di analisa adalah di PT. PETROKIMIA GRESIK.

2. Jenis gangguan yang dilakukan adalah *short circuit* tiga fasa yang mengakibatkan pembangkit lepas dari sistem.
3. Metode *load shedding* yang digunakan adalah *static under-frequency load shedding*.
4. Hasil dari simulasi yang akan diamati dan dikaji adalah pada nilai frekuensi dan acuan frekuensi yang digunakan berdasarkan Permen ESDM no.3 tahun 2007.
5. Nilai tegangan akan diamati hanya untuk melihat apakah tegangan masih berada pada nilai yang diizinkan atau tidak.
6. Simulasi dilakukan dengan *software* ETAP POWER STATION, dengan bantuan tools *load flow* dan *transient stability analysis* dengan *initial load flow Newton raphson*.

### 1.5 Detail Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh Zin dan W.K Wong dalam papernya yang berjudul “*Static and Dyanamic Under – Frequency Load Shedding: A Comparasion*” menyatakan bahwa *load shedding* dapat digunakan untuk mengembalikan nilai frekuensi ke nilai diizinkan pada saat terjadinya gangguan yang mengakibatkan penurunan frekuensi. Pada penelitian tersebut dilakukan perbandingan antara *static* dan *dynamic load shedding*. Pada *dynamic load shedding* dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah beban yang dilepas sedangkan pada *static under-frequency load shedding* pelepasan beban dilakukan berdasarkan urutan beban beban penting. Kelemahan dari metode *dynamic load shedding* sendiri adalah metode ini tidak dapat diterapkan pada dunia industri dikarenakan dalam dunia industri prioritas beban sangat diperhatikan mengingat hal ini sangat sensitif terhadap kegiatan produksi perusahaan.

Sedangkan pada industri petrokimia gresik yang merupakan industri besar tentunya sangat dihindari pelepasan beban tanpa memperhatikan skala prioritas beban, mengingat hal diatas sangat berpengaruh pada *cost and production*. Oleh karena itu pada skripsi kali ini akan dibahas mengenai *static under-frequency load shedding* dimana pelepasan beban pada industri petrokimia gresik dilakukan berdasarkan skala prioritas beban penting dan nilai penurunan laju frekuensi, dimana skala prioritas beban ini sangat penting untuk diperhatikan mengingat pada beban industri terdapat beban-beban sensitif yang sangat berpengaruh pada proses produksi sehingga dihindari untuk dilepas.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi dan referensi yang ada di daftar pustaka. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, detail penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : KAJIAN PUSTAKA**

Pengertian tentang teori operasi sistem tenaga listrik, definisi kondisi transient meliputi penyebab dan akibatnya penjelasan tentang teori *load shedding* serta *static under frequency load shedding*.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Dalam bab ini akan dibahas langkah langkah penelitian yang dilakukan terkait dengan pengolahan data, model yang digunakan dan sistem yang digunakan.

### **BAB IV : ANALISIS HASIL**

Pada bab ini berisi dilakukan analisa hasil simulasi yang dibahas dan dijelaskan dengan rinci.

### **BAB V : KESIMPULAN dan SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran

### **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Operasi Sistem Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik, kondisi sistem yang normal dapat tercapai apabila terdapat keseimbangan antara daya yang dibangkitkan oleh generator dengan daya yang diserap oleh beban ditambah rugi – rugi penghantar. Tetapi, ada kalanya sistem tenaga listrik beroperasi pada keadaan yang tidak normal akibat dari adanya gangguan, baik gangguan yang bersifat besar ataupun gangguan yang sifatnya kecil. Gangguan yang sifatnya besar dapat berupa terjadinya hubung singkat, lepasnya generator / pembangkit dari sistem. Sedangkan gangguan yang bersifat kecil dapat berupa perubahan beban secara *continuous* dan sistem selalu berusaha untuk bertahan pada kondisi tersebut. Akibat dari kondisi tersebut maka akan mengakibatkan sistem mengalami perubahan kearah *transient*.

Masalah unik dalam operasi sistem tenaga listrik adalah bahwa “daya yang dibangkitkan atau diproduksi harus selalu sama dengan daya yang dikonsumsi oleh pemakai tenaga listrik yang secara teknis umumnya dikatakan sebagai beban sistem”.

Apabila daya yang dibangkitkan lebih kecil daripada beban sistem maka frekuensi dan tegangan akan turun, sebaliknya apabila lebih besar maka frekuensi dan tegangan akan naik. Sistem operasi yang normal atau mutu listrik yang baik adalah apabila frekuensi dan tegangan tidak terlalu jauh menyimpang dari nilai nominal, untuk itu haruslah diusahakan agar daya yang dibangkitkan selalu sama dengan daya beban. Daya yang dibangkitkan maupun beban terdiri dari daya nyata (Watt) dan daya reaktif (VAR). Daya nyata adalah hubungannya dengan frekuensi sedangkan daya reaktif hubungannya dengan tegangan. Dalam keadaan *steady state* frekuensi adalah sama dalam seluruh sistem sehingga pengaturan frekuensi dapat dilakukan dengan pengaturan daya nyata (Watt). Sedangkan masalah pengaturan daya reaktif (VAR) tergantung dari sumber daya reaktif setempat<sup>[4]</sup>. Munculnya gangguan seperti dijelaskan diatas akan mudah mengakibatkan sistem mengalami perubahan kondisi kearah *transient*.

Tabel 2.1 Kondisi Frekuensi Sistem Tenaga Pada Tiga Kombinasi Pembangkitan dan Permintaan <sup>[1]</sup>

System Condition	System Frequency
If Generation > Demand + Loss	Increase
If Generation = Demand + Loss	No Change
If Generation < Demand + Loss	Decrease

Dari tabel 2.1 dapat dijelaskan bahwa akibat dari lepasnya pembangkit secara tiba-tiba akan mengakibatkan penurunan frekuensi, dimana penurunan frekuensi terjadi sangat cepat dan jika tidak diatasi akan menyebabkan *system collapse*.

### 2.1.1 Kestabilan Frekuensi

Stabilitas frekuensi yaitu kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi stabil ketika sistem terjadi ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban.

Stabilitas frekuensi dapat bersifat jangka pendek dan jangka panjang. Untuk jangka pendek berupa pembentukan dari sebuah sistem wilayah dengan kondisi pemutusan beban atau *load shedding* yang dapat menanggulangi dampak terjadinya penurunan frekuensi secara cepat dan mencegah terjadinya pemadaman total pada suatu wilayah dalam beberapa detik. Untuk jangka panjang merupakan situasi yang lebih kompleks dimana ketidakstabilan dapat disebabkan oleh kontrol-kontrol *over speed* turbin uap atau boiler.

## 2.2 Jenis – Jenis Beban

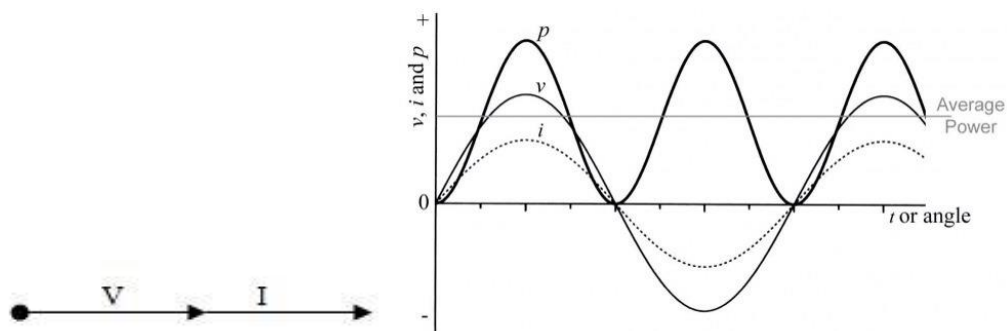
Jaringan pada listrik AC (*alternating current*) tentunya memiliki beban yang harus disuplai tenaga listrik, beban listrik sendiri merupakan sesuatu yang membutuhkan tenaga/daya listrik. Dalam dunia industri contohnya adalah lampu dan motor induksi. Jaringan pada listrik AC (*alternating current*) memiliki tiga jenis beban listrik yang harus ditopang oleh pembangkit listrik. Ketiga beban tersebut yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif, ketiganya memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lainnya.

### 1. Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen pemanas dan lampu pijar. Gelombang arus dan tegangan listrik yang melewati resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah (arus dan tegangan sefasa). Akibat dari arus dan tegangan sefasa maka pada beban resistif mempunyai faktor daya satu (*unity power factor*)



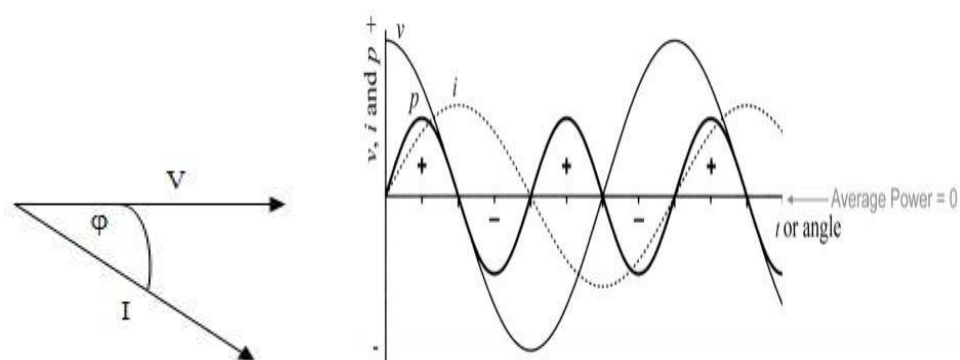
sehingga mengakibatkan pada beban resistif hanya daya aktif ( $P$  dalam watt) sajalah yang diserap.



Gambar 2.1. Diagram Vektor dan Gelombang Sinusoidal Arus Beserta Tegangan dengan Beban Resistif <sup>[5]</sup>

## 2. Beban Induktif

Beban induktif diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC. Ciri utama pada beban induktif adalah tertinggalnya arus dari tegangan (*lagging*) hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Pada komponen induktif murni arus akan tertinggal  $90^0$  dari tegangan.

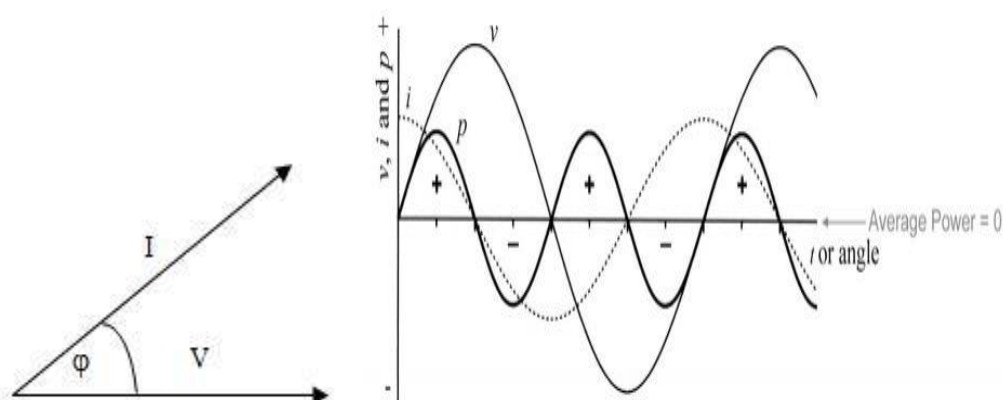


Gambar 2.2 Diagram Vektor dan Gelombang Sinusoidal Arus Beserta Tegangan dengan Beban Induktif <sup>[5]</sup>

## 3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu sirkuit. Ciri utama pada beban kapasitif adalah

arus yang mendahului tegangan (*leading*), Pada komponen kapasitif murni arus akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ .



Gambar 2.3 Diagram Vektor dan Gelombang Sinusoidal Arus dan Tegangan dengan Beban Kapasitif <sup>[5]</sup>

### 2.3 Hubungan Frekuensi dengan Daya Aktif

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi beban dengan frekuensi yang konstan. Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan. Daya aktif mempunyai hubungan yang erat dengan nilai frekuensi sistem, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif dan reaktif selalu berubah sepanjang waktu. Sehubungan dengan hal ini, maka untuk mempertahankan frekuensi dalam batas toleransi yang diperbolehkan, pembangkitan daya aktif oleh generator harus selalu disesuaikan dengan kebutuhan beban atas daya aktif. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel penggerak generator.

Menurut prinsip dasar dari dinamika rotor (hukum Newton) ada hubungan antara kopel mekanis penggerak dengan perputaran generator, yaitu:

$$H = \frac{j \omega^2}{2 \text{VA}} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$(T_G - T_B) = H \times \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots(2-2)$$

Keterangan;

$T_G$  = Kopel penggerak generator

$T_B$  = Kopel beban yang membebani generator

$H$  = Momen inersia generator

$\omega$  = Kecepatan sudut perputaran generator

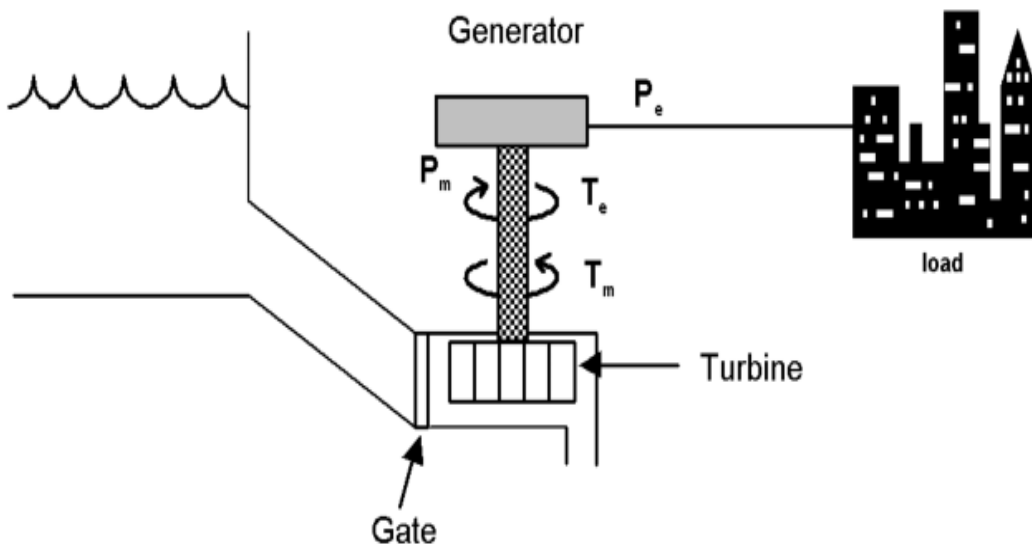
sedangkan frekuensi yang dihasilkan generator adalah :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \dots\dots\dots(2-3)$$

Hal ini berarti bahwa pengaturan frekuensi dalam sistem berarti pula pengaturan kopel penggerak generator atau juga pengaturan daya aktif generator. Ditinjau dari segi beban sistem, frekuensi akan turun apabila daya aktif yang dibangkitkan tidak mencukupi kebutuhan beban dan sebaliknya frekuensi akan naik apabila ada surplus daya aktif dalam sistem (gambar 2.4). Atau secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T_G - T_B = \Delta T < 0, \text{ maka } \frac{d\omega}{dt} < 0, \text{ frekuensi turun} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$T_G - T_B = \Delta T > 0, \text{ maka } \frac{d\omega}{dt} > 0, \text{ frekuensi naik} \dots\dots\dots(2-5)$$



Gambar 2.4 *Power System Model* <sup>[6]</sup>

Sedangkan pengaturan frekuensi generator dapat dilakukan dengan cara berikut untuk tiap –tiap tipe pembangkit. :

1. Mengatur pemberian uap penggerak turbin dalam PLTU.
2. Mengatur pemberian air penggerak turbin dalam PLTA.
3. Mengatur pemberian bahan bakar dalam ruang bakar turbin PLTG.
4. Mengatur pemberian bahan bakar oleh pompa injeksi bahan bakar ke silinder mesin diesel dalam PLTD.

## 2.4 Load Shedding

*Load shedding* atau pelepasan beban adalah salah satu cara untuk mengembalikan nilai frekuensi dan tegangan ke dalam batas nilai yang diizinkan akibat adanya gangguan pada sistem. Akibat adanya gangguan yang terjadi pada sistem, maka tentunya sistem tersebut akan mengalami perubahan kondisi ke arah transient. Dimana terdapat beberapa gangguan yang membuat sistem mengalami kondisi transient, sehingga diperlukan langkah untuk melakukan *load shedding* adalah<sup>[7]</sup>:

1. Lepasnya satu atau *multiple* generator
2. Lepasnya bus
3. Lepasnya saluran transmisi atau distribusi

Suatu sistem kelistrikan kondisinya akan memburuk saat pembangkit dari sistem tersebut dibebani melebihi kapasitas daya yang dimiliki. Misalnya disebabkan oleh lepas pembangkit dengan kapasitas besar, atau penambahan beban yang melebihi kapasitas generator, sehingga penggerak mula (*prime mover*) yang terhubung generator akan mulai melambat karena memikul beban yang melebihi kapasitas tersebut. Selanjutnya *Tie Line* yang terhubung pada sistem berusaha untuk mensuplai kekurangan daya tersebut. Serangkaian kejadian tersebut dapat menyebabkan *tie line* menjadi kelebihan beban (*overload*), sehingga saat suplai tidak mampu memenuhi permintaan beban yang tinggi mengakibatkan frekuensi semakin turun.

Sehingga dengan adanya ketidakseimbangan daya yang disebabkan oleh terjadinya beban lebih pada umumnya dipicu oleh beberapa hal, antara lain:

1. Adanya gangguan saluran sehingga ada beberapa beban yang tidak dapat disuplai oleh salah satu pembangkit.
2. Ada pembangkit yang lepas dari sistem yang mengakibatkan beban yang seharusnya disuplai oleh pembangkit tersebut menjadi tanggungan pembangkit lain

Akibat dari beberapa gangguan diatas tentunya sistem akan mengalami perubahan kondisi ke arah *transient*. Dimana pada saat kondisi akibat gangguan diatas biasanya akan terjadi penurunan frekuensi dan tegangan, sehingga *load shedding* disini berperan untuk mengembalikan nilai frekuensi dan tegangan ke nilai yang diizinkan. Pada IEEE Std. C.37.117, 2007 dijelaskan bahwa besarnya inerti generator dan *overload* sangat mempengaruhi besarnya pelepasan beban. Beberapa sistem tenaga listrik seperti di Spanyol dan Israel masih menggunakan skema *load shedding* berdasarkan pengamatan

laju penurunan frekuensi untuk mengoptimalkan *load shedding* pada keadaan gangguan [8].

Hubungan yang mendefinisikan antara laju penurunan frekuensi berdasarkan perubahan besarnya daya yang dihasilkan generator dan daya yang dibutuhkan beban dapat digambarkan oleh persamaan swing suatu generator sederhana<sup>[9]</sup> yang akan dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{GH}{\pi f_0} \times \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_A \dots\dots\dots(2-6)$$

Kecepatan putaran generator dapat dinyatakan sebagai:

$$\omega = \omega_0 + \frac{d\delta}{dt} = 2\pi f \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \delta}{dt^2} = 2\pi \frac{df}{dt} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan  $\omega_0$  adalah kecepatan generator saat frekuensi nominal (rpm)

Dari persamaan 2.6 dan 2.8 diatas dapat disimpulkan bahwa :

$$\frac{df}{dt} = \frac{P_A \cdot f_0}{2GH} \dots\dots\dots(2-9)$$

Dengan :

$$P_A = P_M - P_E \dots\dots\dots(2-10)$$

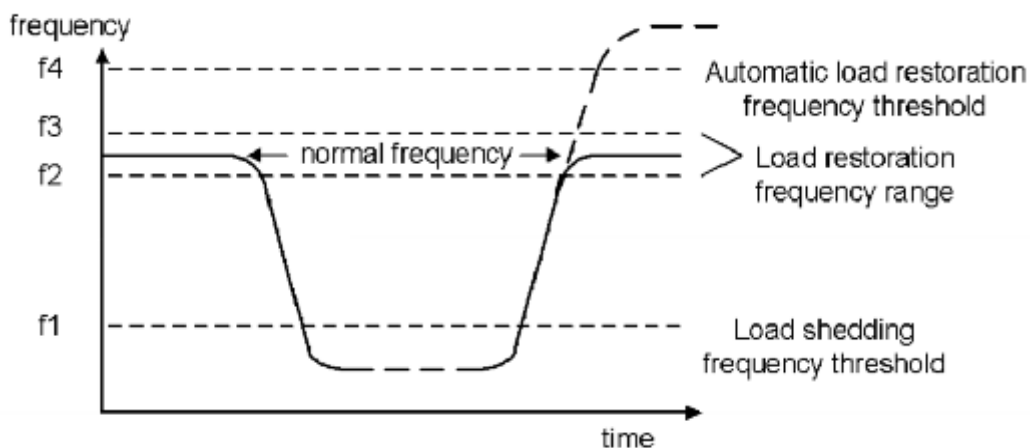
Keterangan;

$P_A$  = Daya Percepatan

$P_M$  = Daya Mekanik Generator

$P_E$  = Daya Elektrik Permintaan Beban

Sehingga berdasarkan persamaan 2-9 dan 2-10 dapat ditarik kesimpulan bahwa perubahan frekuensi akan terjadi apabila terdapat selisih atau perbedaan antara daya mekanik generator dan daya elektrik permintaan beban. Dimana apabila daya mekanik generator lebih besar dari daya permintaan beban mengakibatkan frekuensi naik, sedangkan jika daya elektrik generator lebih kecil dari daya permintaan beban maka frekuensi sistem akan turun.



Gambar 2.5 Penurunan Frekuensi dan *Load shedding* <sup>[6]</sup>

Pada gambar 2.5 diatas merupakan penjelasan dari skema *load shedding* dimana apabila terjadi suatu gangguan yang mengakibatkan sistem kekurangan daya aktifnya maka akan direspon dengan terjadinya penurunan frekuensi pada sistem, apabila frekuensi turun dari batas yang diizinkan ( $f_2$ ) maka *load shedding* perlu dilakukan dan jangan sampai frekuensi turun mendekati batas paling bawah ( $f_1$ ), dimana jika hal tersebut terjadi maka sistem akan rentan terjadi pemadaman total <sup>[6]</sup>.

Adapun sebelum dilaksanakan pelepasan beban yang bertujuan untuk pemulihan frekuensi, hendaknya pelepasan beban ini memenuhi beberapa kriteria, antara lain :

1. Jumlah beban yang dilepas hendaknya seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik dalam memperbaiki tegangan dan frekuensi
2. Beban yang dilepaskan adalah beban yang memiliki prioritas paling rendah bila dibandingkan dengan beban lain dalam suatu sistem tenaga listrik.

Pelepasan beban yang dilakukan akibat penurunan frekuensi yang merupakan efek beban lebih penting untuk dilakukan. Selain karena untuk menghindari terjadinya pemadaman total, pelepasan beban dapat mencegah :

1. Penuaan yang semakin cepat dari komponen mekanik generator  
Penurunan frekuensi yang cukup besar dapat menimbulkan getaran (vibrasi) yang berlebihan pada sudu turbin. Hal ini tentunya akan memperpendek usia pakai peralatan
2. Pertimbangan pemanasan  
Berkurangnya frekuensi menyebabkan berkurangnya kecepatan motor pendinginan generator, hal ini akan berakibat berkurangnya sirkulasi udara yang dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada generator.

### 3. Terjadinya eksitasi lebih

Ketika terjadi penurunan frekuensi pada generator pada tegangan normal, arus eksitasi generator akan semakin meningkat hal ini memicu terjadinya eksitasi lebih. Hal ini ditandai dengan fluks berlebih yang dapat menyebabkan munculnya arus pusar, dimana arus pusar ini akan menyebabkan pemanasan pada inti generator.

## 2.5 *Static Under Frequency Load Shedding*

Metode *load shedding* yang akan digunakan disini adalah *static load shedding* dimana *static load shedding* akan mengurangi beban berdasarkan blok bebannya pada setiap tahap. Implementasi dari *static load shedding* membutuhkan beberapa tahap yang telah ditetapkan, yang pertama adalah menentukan kondisi terburuk sistem saat *overload*, lalu menentukan laju penurunan frekuensi dari sistem akibat kondisi *overload* dengan adanya laju penurunan frekuensi maka kita dapat menentukan waktu saat terjadi penurunan frekuensi, waktu untuk pelepasan beban serta pendekatan untuk menentukan jumlah beban yang akan dilepas<sup>[1]</sup>.

### 1) *Frekuensi dan Tegangan yang Diizinkan*

Kebanyakan sistem tenaga telah memiliki batas nominal frekuensi dan tegangan yang diizinkan, sebagai contoh pada standart *IEEE Guide for The Application of Protective Relays Used for Abnormal Frequency Load shedding and Restoration* frekuensi diizinkan pada kisaran  $\pm 0,5$  Hz <sup>[3]</sup>. Sedangkan di indonesia menurut permen no.3 ESDM tahun 2007 frekuensi dipertahankan pada kisaran  $\pm 0,5$  Hz pada frekuensi nominal, sedangkan pada kondisi darurat frekuensi diizinkan turun sampai 47,5 Hz, untuk tegangan diizinkan turun sampai -10% dari tegangan nominal, sedangkan untuk batas atas frekuensi diizinkan naik sampai 52 Hz, untuk tegangan +5% dari tegangan dari tegangan nominal<sup>[11]</sup>. Sehingga frekuensi dibawah 47 Hz sangat dihindari pada kondisi apapun. Biasanya peralatan pembantu bekerja pada frekuensi dibawah 48 Hz dan untuk proteksi *under-speed turbine* biasanya di *setting* pada frekuensi 47,5 Hz pada sistem operasi 50 Hz <sup>[10]</sup>.

Tabel 2.2 Batas Tegangan Yang Diizinkan <sup>[11]</sup>

Tegangan Nominal (KV)	Kondisi Normal	
	Batas Atas	Batas Bawah
500	+5%	-5%
150	+5%	-10%
70	+5%	-10%
20	+5%	-10%

## 2) Menentukan Overload

Kasus kemungkinan terburuk dapat ditentukan melalui *maximum overload* yang akan terjadi pada sistem<sup>[3]</sup>. Biasanya nilai *overload* disebabkan oleh gangguan lepasnya generator, lepasnya beban secara tiba-tiba, perubahan variasi pada beban dan output generator<sup>[7]</sup>. Gangguan lepasnya satu atau lebih generator adalah salah satu gangguan yang paling sering menyebabkan sistem mengalami *overload*.

$$OL = \frac{P_{so}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \dots\dots\dots(2-11)$$

$$OL = \frac{P_{gen} - P_{load}}{P_{gen}} \dots\dots\dots(2-12)$$

Keterangan;

$P_{so}$  = Daya yang dibangkitkan oleh unit yang terganggu (MW)

$P_{got}$  = Daya terpasang dari unit-unit pembangkit yang beroperasi sebelum gangguan (MW)

$P_{sot}$  = Daya terpasang dari unit yang mengalami gangguan (MW)

Besarnya beban lebih ditentukan dengan membandingkan daya pembangkit yang hilang dengan daya pembangkit yang masih tinggal atau dapat juga dikatakan perbandingan jumlah beban yang tidak dapat dipikul yang disebabkan kehilangan pembangkitan dengan beban yang masih dapat dipikul. Dengan mengetahui prosentase beban lebih, kita dapat membandingkan tingkat ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dengan beban sistem. Setelah *drop* frekuensi dapat dikontrol dan frekuensi kembali normal, beberapa bagian beban dapat dipulihkan kembali<sup>[12,13]</sup>.

## 3) Laju Penurunan Frekuensi dan Momen Inertia Sistem

Momen inertia sistem (H) adalah energi kinetis dalam sistem dibagi daya terpasang dalam sistem yang dinyatakan dalam MW-s/MVA<sup>[2]</sup>, momen inertia sistem diperlukan untuk menghitung laju penurunan frekuensi  $\frac{df}{dt}$  yang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$H = \frac{j \omega^2}{2 VA} \dots\dots\dots(2-13)$$

$$H_{system} = H_{machine} \frac{S_{machine}}{S_{System}} \dots\dots\dots(2-14)$$

Jika pada suatu sistem interkoneksi terdapat beberapa pembangkit maka total inertia sistem dari beberapa generator dapat ditulis sebagai berikut:



$$H_{\text{system}} = \frac{\sum_{k=1}^N H_k \times VA_k}{\sum_{k=1}^N VA_k} \dots\dots\dots(2-15)$$

Dimana,  $H_k$  adalah inertia dari generator  $k_{\text{th}}$  dan  $VA_k$  adalah rata- rata daya semu dari generator  $k_{\text{th}}$  dan  $N$  menunjukkan nomor dari generator<sup>[3]</sup>. Besarnya momen inertia generator sangat berpengaruh pada nilai laju penurunan frekuensi, dikarenakan semakin besar nilai inertia generator maka semakin kokoh sistem sehingga laju penurunan frekuensi sistem semakin lambat dan kecil<sup>[4]</sup>.

Laju penurunan frekuensi berdasarkan dari perhitungan inertia total diatas, dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{df}{dt} = \frac{OL \times f}{2 \times H_{\text{system}}} \dots\dots\dots(2-16)$$

Keterangan;

$F$  = Nominal frekuensi (Hz)

$OL$  = *Overload*

$H_{\text{system}}$  = Rata rata inertia inertia sistem

#### 4) *Load Shed Time*

*Load shed time* adalah waktu dimana akan dilakukan pelepasan beban<sup>[1]</sup>. Berikut merupakan formula untuk mendapatkan nilai dari *load shed time* berdasarkan fungsi frekuensi :

$$T(f) = \frac{1 - \frac{f}{f_0}}{\frac{OL}{2 \times H_{\text{system}}}} \dots\dots\dots(2-17)$$

Keterangan ;

$f_0$  = Frekuensi nominal (Hz)

$f$  = Batas bawah frekuensi yang diperbolehkan (Hz)

$OL$  = Nilai *overload* sistem saat gangguan

Sedangkan nilai *overload* dan laju penurunan frekuensi setelah *load shedding* dapat dihitung menggunakan formula berikut<sup>[4]</sup>:

$$OL_{\text{new}} = \frac{-P_{\text{so}} + P_{\text{Is}}}{P_{\text{GOT}} - P_{\text{SOT}}} \dots\dots\dots(2-18)$$

$$\frac{df}{dt_{\text{new}}} = \frac{-OL \times f}{2 \times H_{\text{net}}} \dots\dots\dots(2-19)$$

Keterangan ;

$P_{ls}$  = Besarnya beban yang dilepas berdasarkan laju penurunan frekuensi yang diharapkan(MW)

$\frac{df}{dt_{new}}$  = Besarnya laju penurunan frekuensi yang diharapkan(Hz/s)

### 2.5.1 Prioritas Beban yang Dilepaskan

Ketika terjadi penurunan frekuensi akibat beban lebih, salah satu hal yang dapat dilakukan untuk mengatasinya adalah pelepasan beban. Dalam pelepasan beban ini diharapkan dapat memperbaiki frekuensi secara cepat tana harus merugikan pengguna secara ekonomi. Oleh sebab itu, beban – beban yang disuplai oleh generator diurutkan menurut parameter-parameter sebagai berikut :

1. Sensitif terhadap kegiatan industri dan proses produksi
2. Tingkat kesulitan pengasutan untuk beban beban seperti pada pengasutan atau *starting* motor induksi
3. Daya yang dibutuhkan

Beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan dalam memilih beban yang akan dilepas salah satunya adalah apakah beban tersebut sensitif terhadap kegiatan proses produksi dalam satu industri. Jenis beban yang dilepaskan adalah beban yang memiliki pengaruh paling rendah pada kegiatan produksi.

Jika terjadi kondisi dimana beban yang besarnya sesuai dengan kebutuhan memiliki sifat *starting* yang lebih sulit dibandingkan dengan beban lain yang menyerap daya lebih besar, maka beban tersebut harus dipertimbangkan lagi untuk dilepas atau tidak, apabila pada saat pelepasan sistem cepat kembali normal dan tidak terjadi kelebihan suplai namun bila saat beban dihubungkan kembali dengan sistem akan menimbulkan masalah lain maka hal tersebut sebaiknya dihindari karena yang terjadi jauh lebih besar apabila beban yang dilepas lebih besar daripada yang dibutuhkan.

## **BAB III**

### **METODELOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Sistem Kelistrikan PT Petrokimia Gresik**

Dalam *study static* UFLS (*under-frequency load shedding*) ini untuk meningkatkan frekuensi pada sistem kelistrikan petrokimia gresik, penelitian ini menggunakan standart Perment No.3 Tahun 2007 sebagai acuan dalam proses pelaksanaan dan pengerjaannya. Pengujian dan penelitian ini dimulai dengan survey data yang diperoleh dari PT. PETROKIMIA GRESIK. Data tersebut diambil pada tanggal 01 maret 2017. Dengan data yang diperoleh maka dapat dilakukan simulasi sistem kelistrikan petrokimia gresik menggunakan *software ETAP Power Station*. Simulasi yang dapat dilakukan menggunakan tools *transient stability*, yang mana untuk mengetahui frekuensi pada kondisi sistem operasi normal ataupun gangguan. Generator akan tetap stabil jika tidak ada gangguan, sehingga generator dapat menyalurkan daya secara kontinyu. Jika sistem tenaga disuplai dengan daya input yang tidak stabil akan terjadi kemungkinan terburuk yaitu terjadinya pemadaman total dan kerusakan pada peralatan dikarenakan kemungkinan terjadinya penurunan frekuensi.

Terdapat tujuh buah sumber pembangkitan pada sistem kelistrikan di PT. PETROKIMIA GRESIK yaitu.

1. GTG (gas turbine generator) dengan kapasitas sebesar 33 MW
2. UBB (Utilitas batu bara) dengan kapasitas sebesar 32 MW
3. Revamp 1 dengan kapasitas sebesar 17,5 MW
4. Revamp 2 dengan kapasitas sebesar 12,5 MW
5. TG (turbine gas) 65 dengan kapasitas sebesar 8,5 MW dan TG (turbine gas) 66 dengan kapasitas sebesar 11,5 MW.
6. PLN dengan kapasitas sebesar 14 MW.

#### **3.2. Software ETAP Power Station**

ETAP merupakan *software* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. ETAP dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. ETAP didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi system tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*.

*Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC networks*), desain jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (*ground grid*), *GIS*, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*) dan AC/ DC control sistem diagram. (D.William, and Jr.Stevenson 1990). *ETAP Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. *Software* ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misalnya generator, data beban, data saluran, dll. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan data *base* untuk keperluan itu.

*ETAP Power Station* dapat digunakan untuk menggambarkan *single line* diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor *starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *Optimal Capacitor Placement*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah:

- ***One Line Diagram***, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- ***Library***, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisis.
- **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI*, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- ***Study Case***, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisis.

### 3.3 Algoritma Simulasi Pada *Software ETAP Power Station*

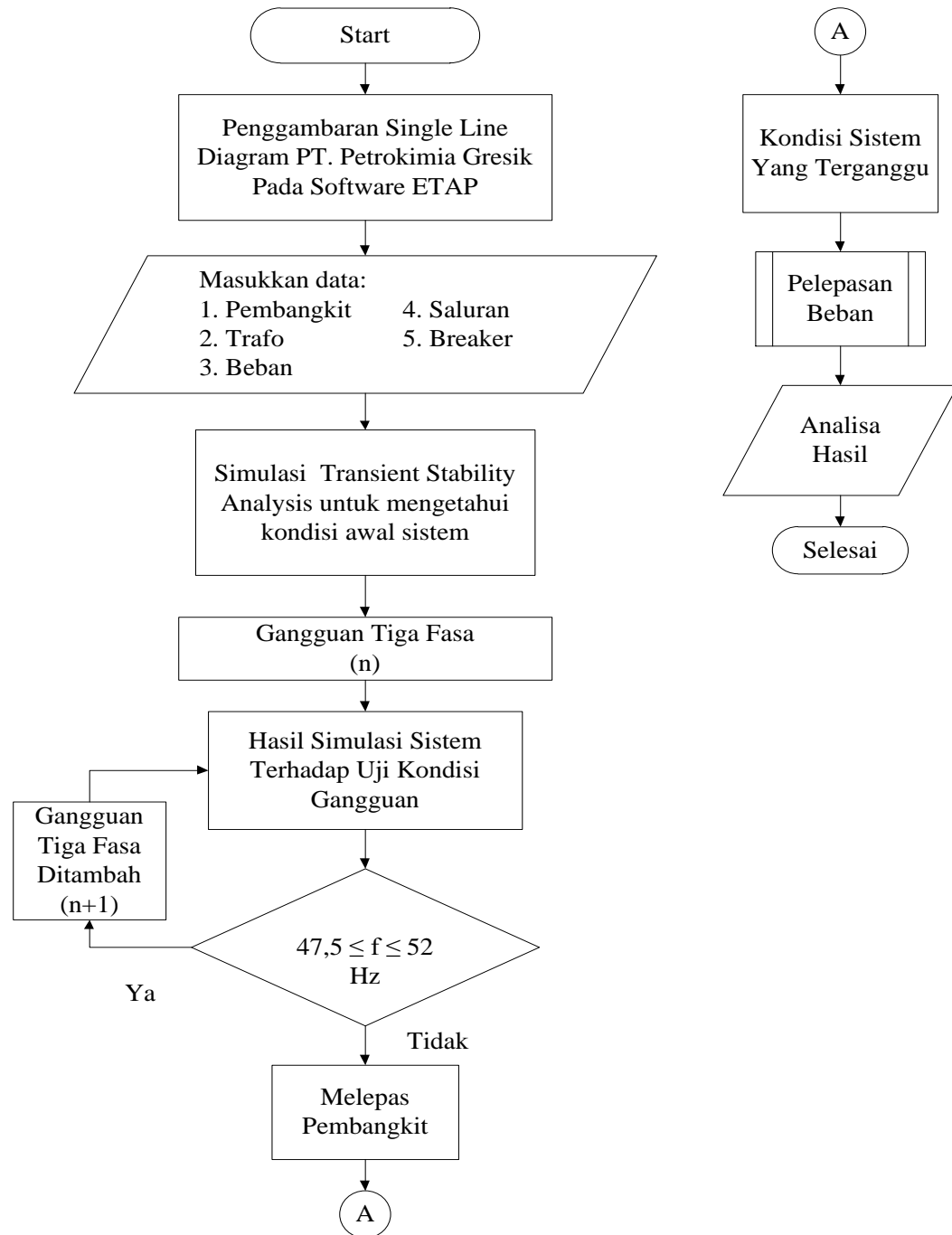
1. Mulai.
2. Melakukan penggambaran single line diagram PT. PETROKIMIA GRESIK pada *software ETAP*
3. Input data : Data generator, data saluran, data beban, data trafo dan data *breaker/* pengaman.
4. Lakukan simulasi menggunakan *tools transient stability analysis* untuk mengetahui kondisi awal sistem.
5. Inputkan gangguan tiga fasa pada salah satu bus dalam sistem.
6. Plot kondisi sistem saat terjadi gangguan 3 fasa.
7. Mengecek apakah frekuensi masih pada standart  $47.5 \leq f \leq 52$  Hz.
  - a. “Ya” : Gangguan tiga fasa ditambah, lalu kembali ke langkah nomor 5
  - b. “Tidak” : Lakukan pelepasan pembangkit
8. Plot kondisi sistem saat terjadi gangguan lepas pembangkit
9. lakukan pelepasan beban untuk memperbaiki nilai frekuensi akibat lepas pembangkit.
10. Analisa hasil dan selesai.

#### 3.3.1 Algoritma Pelepasan Beban Menggunakan Static UFLS

1. Mulai.
2. Mendapatkan sistem yang terganggu dimana terjadi penurunan frekuensi.
3. Set prioritas beban.
4. Hitung laju penurunan frekuensi dan menentukan frekuensi *set point*.
5. Mengecek apakah frekuensi masih pada standart  $47.5 \leq f \leq 52$  Hz.
  - a. “Ya” : Selesai.
  - b. “Tidak” : Hitung dan Inputkan waktu *load shedding*.
6. Lakukan *load shedding*.
7. *End*.

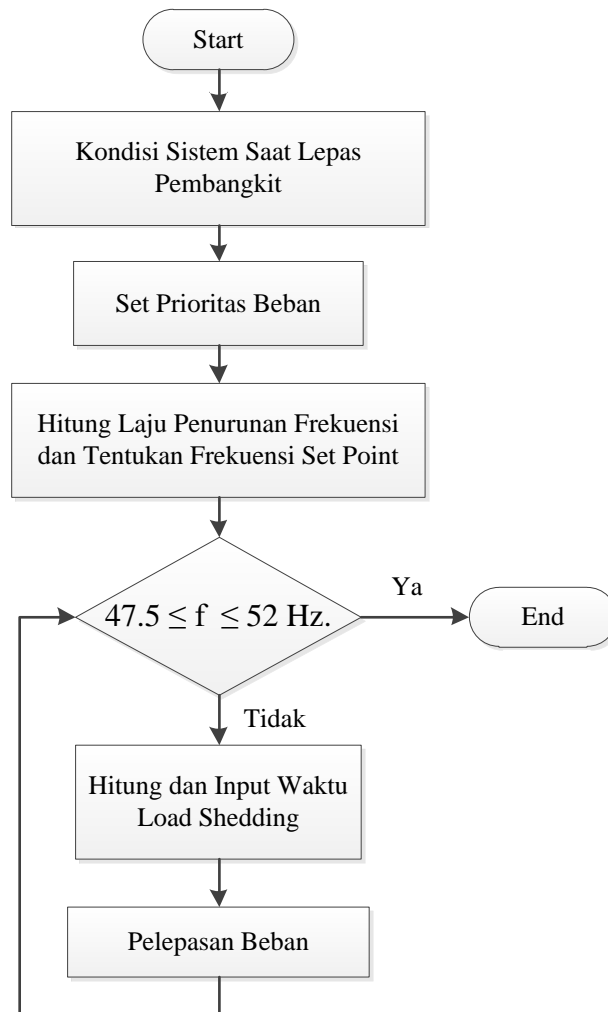
### 3.4. Flowchart Simulasi Pada Software ETAP *power station*

Dibawah ini adalah *flowchart* untuk menyelesaikan masalah yang terjadi pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik untuk meningkatkan frekuensi akibat *short circuit* yang harus melepas generator/pembangkit pada generator.



Gambar 3.1. *Flow chart* Penyelesaian Masalah

### 3.4.1 Flowchart Simulasi Pelepasan Beban



Gambar 3.2 Flowchart *Static Under-Frequency Load Shedding*

### 3.5. Data – Data Sistem Kelistrikan Petrokimia Gresik

Untuk melakukan simulasi dengan menggunakan *software etap power station* maka diperlukan beberapa beberapa data yang digunakan untuk memodelkan sistem kelistrikan petrokimia gresik, adapun data – data yang didapat ini meliputi data pembangkitan, data saluran, data transformator, data *circuit breaker* atau pengaman serta data beban.

#### 1. Data Pembangkitan

Tabel 3.1 Data Pembangkit di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

No.	Nama Pembangkit	Daya Semu (KVA)	Daya Aktif (MW)	Tegangan (KV)
1.	GTG	41250	33	6
2.	UBB	40000	32	6
3.	Revamp	20590	17,5	6
4.	Cogen	14700	12,5	6
5.	STG-65	10625	8,5	6
6.	STG-66	14375	11,5	6
7.	PLN	16000	14	150

#### 2. Data Transformator

Tabel 3.2 Data Transformator di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

No.	Nama Transformator	Rating Daya (MVA)	V primer – V sekunder (KV)	Sistem Pendingin
1.	Trafo 09 TR 101	5	20-6	ONWF/ONAN
2.	Trafo 30-TR-10	1,25	6-0,4	ONWF/ONAN
3.	Trafo 30-TR-41	1	6-0,4	ONWF/ONAN
4.	Trafo 30-TR-70	1	6-0,4	ONWF/ONAN
5.	Trafo 32-TR-31.20/6 kV	8	20-6	ONWF/ONAN
6.	Trafo Emergency 02-1	1	20-6	ONWF/ONAN
7.	Trafo Main01-1	8	20-6	ONWF/ONAN
8.	Trafo T6	20	20-6	ONWF/ONAN
9.	Trafo T21	20	6-0,4	ONWF/ONAN
10.	Trafo T65	1,6	6-0,4	ONWF/ONAN
11.	Trafo TR-02-1	1	20-6	ONWF/ONAN
13.	Trafo TR 12	8	20-6	ONWF/ONAN
14.	Trafo TR 13	16	20-6	ONWF/ONAN
15.	Trafo TR 14	8	20-6	ONWF/ONAN
17.	Trafo TR GI	25	20-11,5	ONWF/ONAN
18.	Trafo TR HVS-2210	2,5	20-6	ONWF/ONAN
19.	Trafo TR PLN	25	150-20	ONAN/ONAF
20.	Trafo 66-1	1	6-0,4	ONWF/ONAN



Kelanjutan dari tabel 3.2

No.	Nama Transformator	Rating Daya (MVA)	V primer – V sekunder (KV)	Sistem Pendingin
21.	Trafo-2281 A	25	11,5-6	ONWF/ONAN
22.	Trafo-2281 B	25	11,5-6	ONWF/ONAN
23.	Trafo UBB 6/20	35	6-20	ONWF/ONAN
24.	Zigzag Trafo	3	20-6	-

### 3. Data Beban

Tabel 3.3 Data Beban di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

Pabrik	Nama Beban	Kapasitas		V (KV)	Status
		P (KW)	Q (KVAR)		
1	Lump HVS-2210-04/6kV	1450	438	6	CONTINUOUS
	Benfield Pump	1087	623	6	SPARE
	PS-2281 C	440	320	6	CONTINUOUS
	01-HVS-1100 SS3	470	333	6	CONTINUOUS
	IM MP-2251A	280	169	6	SPARE
	TR. 2282 A	488	326	6	CONTINUOUS
	TR. 2282 C	322	323	6	CONTINUOUS
	IM MP-2211A	1247	710	6	CONTINUOUS
	IM MP-2211B	1306	741	6	CONTINUOUS
	IM MP-2211F	1350	585	6	SPARE
	IM MP-2211C	1289	733	6	CONTINUOUS
	IM MP-2211D	1323	752	6	CONTINUOUS
	IM MP-2211E	1366	775	6	CONTINUOUS
	TR. 2282 B	336	202	6	CONTINUOUS
	TR. 2282 D	550	459	6	CONTINUOUS
	IM MP-2222A	371	221	6	CONTINUOUS
	TR. 2282 E	10	8	6	SPARE
	IM GB-302 BLOWER	184	113	6	CONTINUOUS
	IM NMC-101	1119	640	6	SPARE
	IM MP-1212A	256	154,48	6	SPARE
	IM MP-1212B	256	154,48	6	CONTINUOUS
	IM MP-1103A	267	161,4	6	CONTINUOUS
	IM MC-1101A	250	151	6	SPARE
	IM MP-1212C	256	154	6	CONTINUOUS
	IM MP-1103B	267	161	6	SPARE
	IM MP-1216A	236	143	6	CONTINUOUS
	IM MP-1216B	286	173	6	CONTINUOUS
	IM MP-1216C	262	158	6	CONTINUOUS
	IM MC-1101B	248	150	6	CONTINUOUS
	IM MC-1101C	336	202	6	CONTINUOUS
IM MC-11021	336	202	6	SPARE	

Kelanjutan dari tabel 3.3

Pabrik	Nama Beban	Kapasitas		V (KV)	Status
		P (KW)	Q (KVAR)		
1	Load SS4	256	157	6	CONTINUOUS
	Load ZA I/III	723	715	6	CONTINUOUS
2	NPK-PHONSKA	1990	700	6	CONTINUOUS
	23 PH3	1317	877	6	CONTINUOUS
	NPK GRANULASI	2670	1370	6	CONTINUOUS
	HVS 24 (Petrosida & Utls)	500	375	6	CONTINUOUS
	Utilities (03.900)	407	305	6	CONTINUOUS
	Petrosida	145	109	6	CONTINUOUS
	Phonska 3	1061	796	6	CONTINUOUS
	ZK & Utilities	301	225	6	CONTINUOUS
	03MC202	106	79	6	CONTINUOUS
	K2SO4 or ZK	113	84,4	6	CONTINUOUS
	Tank Yard	212	89	6	CONTINUOUS
	M7010 (Trestel Conv)	93	180	6	CONTINUOUS
	SP-36	352	327	6	CONTINUOUS
	LVS-CSU	271	191	6	CONTINUOUS
	BEBAN TOTAL TR 11	4550	1958	6	CONTINUOUS
	TK-11	264	83	6	CONTINUOUS
	12 PH2	452	340	6	CONTINUOUS
	Pier KC1	500	375	6	CONTINUOUS
	PF-1	1515	1136	6	CONTINUOUS
	Street Lighting & Boiler UT2A	592	290	6	CONTINUOUS
	KC 2, LTP-72	320	157	6	CONTINUOUS
	BEBAN TOTAL TR 12	3544	2200	6	CONTINUOUS
	PF-1.	1765	928	6	CONTINUOUS
	O2 PH2	2060	1320	6	CONTINUOUS
	BAGGING & STORAGE	143	91,7	6	CONTINUOUS
	25-HVS-31 TANK YARD	667	373	6	CONTINUOUS
	PH4	2646	1884	6	CONTINUOUS
SS Pier	1829	547	6	CONTINUOUS	
TANGKI 32 & 25	3200	2400	6	CONTINUOUS	
3	PJA Load	5000	2977	20	CONTINUOUS
	HVS 6504A	981	689	6	CONTINUOUS
	HVS 6504B	4675	2146	6	CONTINUOUS
	HVS 6505A	3400	2759	6	CONTINUOUS
	HVS 6505B	423	345	6	CONTINUOUS
	HVS 6506A	1915	1604	6	CONTINUOUS

Kelanjutan dari tabel 3.3

Pabrik	Nama Beban	Kapasitas		V (KV)	Status
		P (KW)	Q (KVAR)		
3	HVS 6506B	2675	2171	6	CONTINUOUS
	HVS 6507A	2392	1575	6	CONTINUOUS
	HVS 6507B	850	701	6	CONTINUOUS
	UBB Load	4700	3300	6	CONTINUOUS
	LVS-10	300	139	6	CONTINUOUS
	IM P-6201B-1	355	213	6	CONTINUOUS
	NH4 Lump 1	4200	2900	6	CONTINUOUS
	Purified Gypsum 6	539	94,23	0,4	CONTINUOUS
	Phosphate Rock Circular	579	100	0,4	CONTINUOUS
	IM C-1301-1	3400	1856	6	SPARE
	IM P-1301-1	178	110	6	CONTINUOUS
	IM P-1302-1	178	110	6	CONTINUOUS
	IM P-1303-1	178	110	6	CONTINUOUS
	IM P-6201A-1	299	180	6	CONTINUOUS
	Office Building	544	337	0,4	CONTINUOUS
	Cool.Tower	870	539	0,4	CONTINUOUS
	Eff.Treatment	544	337	0,4	CONTINUOUS
	IM P-6511A-1	380	228	6	CONTINUOUS
	IM P-6511B-1	380	228	6	CONTINUOUS
	IM P-6511C-1	450	267	6	SPARE
IM P-6521A-1	380	228	6	CONTINUOUS	
IM P-6521B-1	380	228	6	CONTINUOUS	
IM P-6521C-1	450	267	6	SPARE	

#### 4. Data Saluran

Tabel 3.4 Data Saluran di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

No.	Nama Saluran	Size (mm <sup>2</sup> )	Panjang (m)	Konduktor /Fase	Tipe Isolasi	Tipe Konduktor
1.	Cable Revamp(2-3x150-1)	150	200	2	EPR	Tembaga
2.	Cable Revamp(3x70-1)-1	70	450	1	EPR	Tembaga
3.	Cable Revamp(3x70-1)-2	70	300	1	EPR	Tembaga
4.	Cable 18/20-3X2	185	150	1	XLPE	Tembaga
5.	Cable 18/20-3X185	185	150	1	XLPE	Tembaga
6.	Cable 1 (GTG)	300	300	2	Rubber	Tembaga
7.	Cable 2 (From HVS GI A)	150	700	2	Rubber	Tembaga
8.	Cable 2-1 (From HVS GI A)	150	700	2	Rubber	Tembaga

Kelanjutan dari tabel 3.4

No.	Nama Saluran	Size (mm <sup>2</sup> )	Panjang (m)	Konduktor /Fase	Tipe Isolasi	Tipe Konduktor
9.	Cable 4 (From HVS GI B)	185	700	1	Rubber	Tembaga
10.	Cable 6 (From UBB to HVS 65/6)	185	450	4	Rubber	Tembaga
11.	Cable 8 (From UBB to HVS 65/6)	150	250	2	Rubber	Tembaga
12.	Cable 10 (From Cogen)	185	300	2	Rubber	Tembaga
13.	Cable 17 (From HVS 00-20/GI B)	185	700	1	Rubber	Tembaga
14.	Cable 19 (From UBB to HVS 02.A/20 KV B)	185	450	4	Rubber	Tembaga
15.	Cable 21 (From UBB to HVS 02.A/20 KV B)	150	250	2	Rubber	Tembaga
16.	Cable 23 (From GTG to HVS 00-20/GI B)	300	300	3	Rubber	Tembaga

#### 5. Data Kapasitor dan Reaktor

Tabel 3.5 Data Kapasitor di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

No.	Nama	Tegangan (KV)	Q (KVAR)	Jumlah Banks	Lokasi
1.	Capacitor 1	6	1500	1	Bus HVS-21/6KV/TSP-2
2.	Capacitor 2	6	450	1	Bus HVS-21/6KV/TSP-2
3.	Capacitor 3	6	1500	1	Bus SS6500-1

Tabel 3.6 Data Reaktor di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

No.	Nama	Tegangan (KV)	Arus (Ampere)
1.	Reaktor Pabrik 3	6	3500
2.	Reaktor UBB	20	600
3.	Reaktor X2	6	1500

## 6. Data Skala Prioritas Beban Berdasarkan Urutan Beban Penting

Tabel 3.7 Data Skala Prioritas Beban Berdasarkan Urutan Beban Penting di PT. Petrokimia Gresik<sup>[14]</sup>

Nama CB	Nama Beban	Priority Load Shedding	Lokasi	Kapasitas (KW)	Keterangan
CB 15	Tangki NH3 TK-11	0	HVS 00 (Pabrik II)	579	
CB 274	Petrosida	0	HVS 00 (Pabrik II)	141	
CB 36	Tangki NH3 TK-06	0	HVS 21 (Pabrik II)	133	
CB 46	Ex. TK-25 diganti emergency ZK	0	HVS 21 (Pabrik II)		Open
	TK-32, TK-25	0	HVS 21 (Pabrik II)		Beban baru
HVS 6504A	PG	0	HVS 65 (PABRIK III)	543	
HVS 6507A	CT	0	HVS 65 (PABRIK III)	2389	
HVS 6507B	UT	0	HVS 65 (PABRIK III)	829	
AO 2	Internal UBB	0	UBB		Beban baru
	Revamp PA	0	UBB		
HVS 6504B	SA	1	HVS 65 (PABRIK III)	4682	
GI 03	To PS-2281C (Boiler Feed Water)	2	GI	7	
GI 05	PP-2200-01	2	GI	106	
GI 12	Pabrik I (emergency)	2	GI		Open
CB 3	BOILER FEED WATER P1103A	2	SS 0 (Pabrik I)	277	
CB 5	TR 0-1	2	SS 0 (Pabrik I)		Open
CB 9	TR 0-2	2	SS 0 (Pabrik I)		Menyusul
CB 11	BOILER FEED WATER P1103B	2	SS 0 (Pabrik I)	236	open
CB 12	CT 1216A	2	SS 0 (Pabrik I)	239	
CB 13	CT 1216B	2	SS 0 (Pabrik I)	280	
CB 14	CT 1216C	2	SS 0 (Pabrik I)	258	
CB 15	C 1101B	2	SS 0 (Pabrik I)	840	
CB 16	C 1101C	2	SS 0 (Pabrik I)	309	
CB 18	TO PC.1/6KV	2	SS 0 (Pabrik I)		Menyusul
CB 27	SS4	2	SS 0 (Pabrik I)		Beban baru
	Outgoing to M-107JD	2	SS 0 (Pabrik I)		Beban baru
CB 188	MC11021	2	SS 0 (Pabrik I)		Menyusul
CB 181	TR 1-1	2	SS 0 (Pabrik I)		Menyusul

Kelanjutan dari tabel 3.7

<b>Nama CB</b>	<b>Nama Beban</b>	<b>Priority Load Shedding</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (KW)</b>	<b>Keterangan</b>
CB 182	TR 1-2	2	SS 0 (Pabrik I)		Menyusul
	Benfield Pump	2	SS 2 (Pabrik I)	771	Open
9	TR 2282 A (NH3)	2	SS 2 (Pabrik I)	513	
2	Cooling water pump	2	SS 2 (Pabrik I)	1244	
3	Cooling water pump	2	SS 2 (Pabrik I)		
21	Cooling water pump	2	SS 2 (Pabrik I)	1314	
22	Cooling water pump	2	SS 2 (Pabrik I)	1328	
15	TR 2282 B (NH3)	2	SS 2 (Pabrik I)	318	
25	Boiler Feed Water	2	SS 2 (Pabrik I)	358	
17	TR 2282 E	2	SS 2 (Pabrik I)		Menyusul
7	PS-2281C	2	SS 2 (Pabrik I)		Menyusul
10	TR 2282 C (Urea)	3	SS 2 (Pabrik I)	294	
4	Cooling water pump	3	SS 2 (Pabrik I)		Open
23	Cooling water pump	3	SS 2 (Pabrik I)	1341	
16	TR 2282 D (Urea)	3	SS 2 (Pabrik I)	488	
20	Blower for fluidizing cooler	3	SS 2 (Pabrik I)	185	
24	ASU	3	SS 2 (Pabrik I)		Menyusul
GCB/O CB	K2SO4 or ZK	4	HVS 21 (Pabrik II)	80	
5	Fire Water Pump	4	SS 2 (Pabrik I)		Open
CB 45	Pelabuhan	5	HVS 21 (Pabrik II)	32	
CB 94	Street lighting & boiler UT-2A	6	HVS 00 (Pabrik II)	435	
CB 96	KC 2, LTP-72	6	HVS 00 (Pabrik II)	124	
CB 91	Emerg PF-1 & PF-2	6	HVS 00 (Pabrik II)		Open
	LTP 75.3	6	HVS 21 (Pabrik II)		Beban baru
CB 273	Utilities (03.900)	7	HVS 00 (Pabrik II)	268	
CB 95	Kantor, Workshop, Dep. Prod 3, Utilities (U.900)	7	HVS 00 (Pabrik II)		Menyusul
CB 38	LVS-CSU	7	HVS 21 (Pabrik II)	161	
GI 04	HVS-2210-03/20 Kv	8	GI	1238	
GI 09	HVS-2210-03/20 Kv	8	GI		Open
CB 37	Trestel Conv.	8	HVS 21 (Pabrik II)	99	

Kelanjutan dari tabel 3.7

<b>Nama CB</b>	<b>Nama Beban</b>	<b>Priority Load Shedding</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (KW)</b>	<b>Keterangan</b>
HVS 6506B	AS/ZAI	9	HVS 65 (PABRIK III)	212	
8	01-HVS-1100/6kV (SS 3)	9	SS 2 (Pabrik I)	4071	
CB 29	ZA I/III	10	SS 0 (Pabrik I)		
CB 1	CT 1212A	11	SS 0 (Pabrik I)	241	Open
CB 2	CT 1212B	11	SS 0 (Pabrik I)		
CB 10	CT 1212C	11	SS 0 (Pabrik I)	295	
HVS 6505A	PA	12	HVS 65 (PABRIK III)	3299	
HVS 6505B	AF	13	HVS 65 (PABRIK III)	1815	
HVS 6506A	CR	14	HVS 65 (PABRIK III)	1814	
CB 06	HVS-1 (TR 1-> U.400-U.500)	15	HVS 00 (Pabrik II)	113	
CB 13	Ex. LVS-PIER, KC 1	15	HVS 00 (Pabrik II)		Open
CB 44	Phonska 4	16	HVS 21 (Pabrik II)	2616	
CB 275	Phonska 3 (2 sumber cb 29)	17	HVS 00 (Pabrik II)	1150	
CB 29	Phonska 3 (2 sumber cb 275)	17	HVS 21 (Pabrik II)	1261	
CB 07	Phonska 2	18	HVS 00 (Pabrik II)	1282	
CB 16	Phonska 2	18	HVS 00 (Pabrik II)	470	
UT 02A	Phonska 1	19	HVS 00 (Pabrik II)	1942	
CB 01	PF-1 U.300	20	HVS 00 (Pabrik II)	1747	
CB 30	NPK 1, 2, 3, dan 4	21	HVS 21 (Pabrik II)	2734	
CB 39	SP-36	22	HVS 21 (Pabrik II)	23	
CB 82	LVS 3	23	HVS 00 (Pabrik II)	363	
CB 83	02-MC-101	23	HVS 00 (Pabrik II)	169	
CB 84	02-MQ-101	23	HVS 00 (Pabrik II)	750	

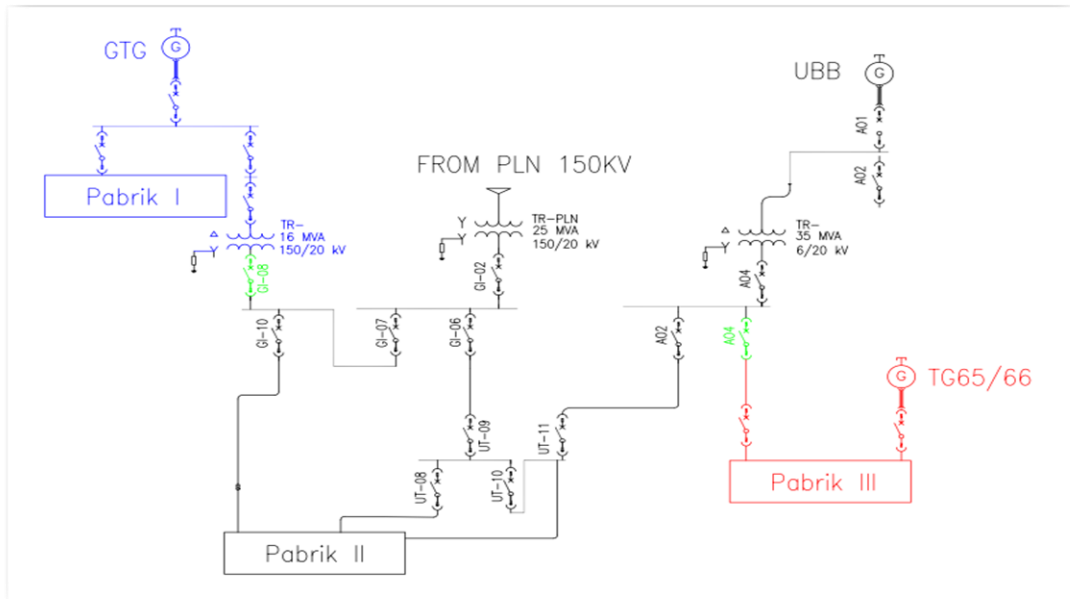
Kelanjutan dari tabel 3.7

Nama CB	Nama Beban	Priority Load Shedding	Lokasi	Kapasitas (KW)	Keterangan
CB 85	02-MC-202	23	HVS 00 (Pabrik II)	51	
CB 86	TRESTEL CONV.	23	HVS 00 (Pabrik II)		Beban baru
	Degassing Scrubbing	23	HVS 00 (Pabrik II)		
CB 281	Utilities (03.100, 03.200)	24	HVS 21 (Pabrik II)	59	
FC	03MC101	24	HVS 21 (Pabrik II)		Menyusul
CB 280	03MQ101	24	HVS 21 (Pabrik II)		Menyusul
FC	03MC202	24	HVS 21 (Pabrik II)	67	
AO 1	PJA (Lama)	25	UBB	Fluktuatif $\pm 5\text{MW}$	
AO 6	Gudang Multiguna	25	UBB		Beban baru
AO 7	PJA (Baru)	25	UBB		Beban baru

### 3.6. Pemodelan *Single Line Diagram* dan *Input Data Sistem* PT PETROKIMIA GRESIK pada ETAP

Permodelan sistem kelistrikan PT. PETROKIMIA GRESIK dilakukan untuk mengetahui karakteristik frekuensi saat terjadinya lepas pembangkit sehingga menyebabkan sistem mengalami *overload* hingga berakibat pada penurunan frekuensi serta dengan mengamati nilai tegangan apakah pada saat terjadinya gangguan dalam pelepasan beban tegangan masih berada pada nilai yang diizinkan. Beban pada sistem kelistrikan PT. PETROKIMIA GRESIK antara lain motor induksi dan beban static yang beroperasi pada standar frekuensi 50 Hz. Permodelan juga dilakukan untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk mendesain *static under-frequency load shedding*.





Gambar 3.3 Single Line PT. PETROKIMIA Gresik<sup>[14]</sup>

### 3.6.1 Input Data Sumber

The image shows two screenshots of the 'Asynchronous Generator Editor - GTG' software interface. The left screenshot shows the 'Info' and 'Equipment' tabs, with fields for ID (GTG), Bus (BUS GTG), Tag #, Name, and Description. The right screenshot shows the 'Rating' and 'Operating Values' tabs. The 'Rating' tab includes a table for generator characteristics and a table for prime mover ratings.

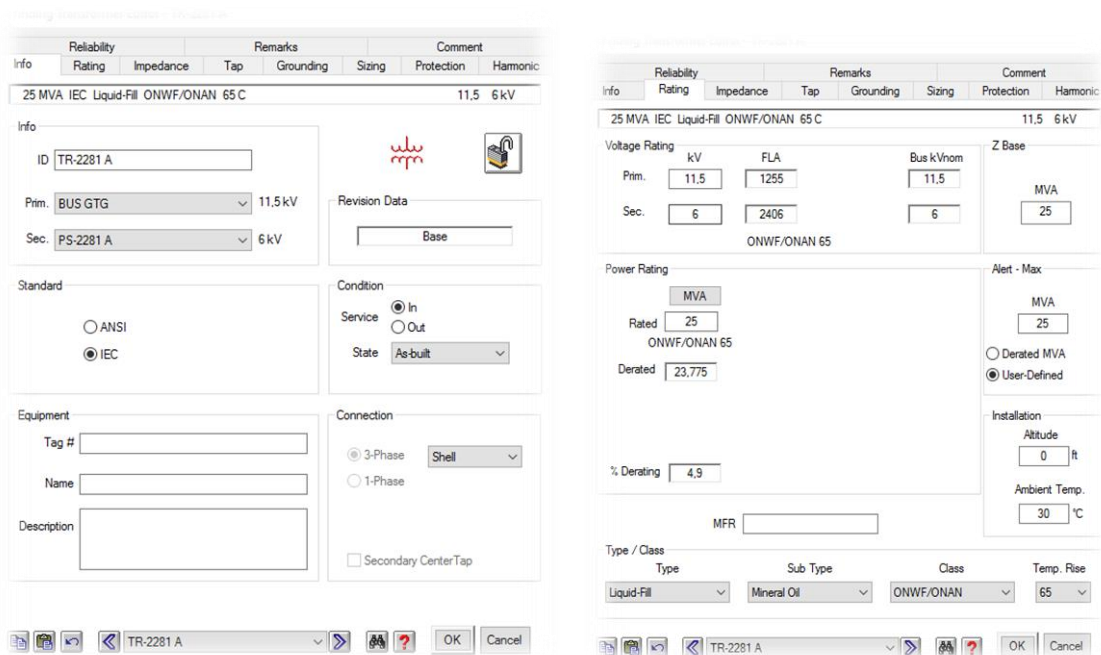
Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Qmax	Qmin
1 Design	33	0	100	24.75	0		
2 Normal			20	15	80	31,069	0
3 Shutdown			0	0	85	34,437	0
4 Emergency			0	0	85	34,437	0
5 Standby			0	0	85	34,437	0
6 Startup			0	0	85	34,437	0

Prime Mover Rating				Mvar Limits	
Continuous		Peak		Capability Curve	Peak Mvar
HP	MW	HP	MW		
43275	32.27	43275	32.27	<input checked="" type="radio"/>	19.999

Operating Values			
% V	Vangle	MW	Mvar
101.695	-1.8	20	15

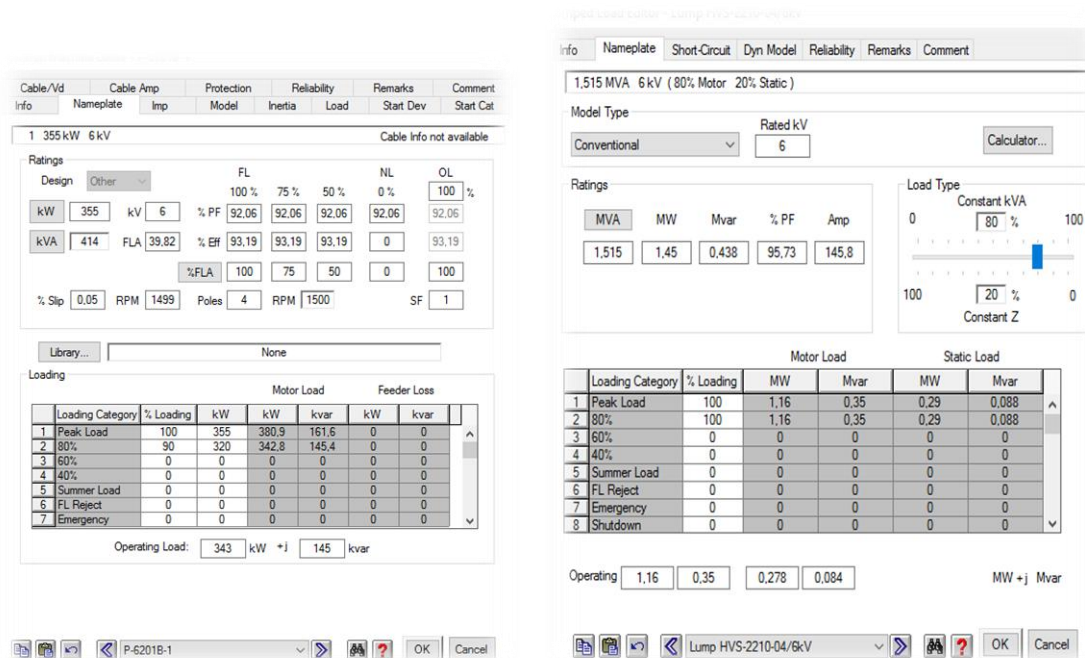
Gambar 3.4 Tampilan Input Data Sumber Generator

### 3.6.2 Input Data Transformer



Gambar 3.5 Tampilan Input Data Transformator

### 3.6.3 Input Data Beban



Gambar 3.6 Tampilan Input Data Beban Lumped dan Motor Induksi

### 3.6.3 Input Data Saluran

Cable Editor - Cable2-1

Sizing - Phase	Sizing - GND/PE	Reliability	Routing	Remarks	Comment	
Info	Physical	Impedance	Configuration	Loading	Capacity	Protection
ICEA	Mag.	50 Hz	Code : 150			
Rubber	100 %	15 kV	3/C CU	150	mm <sup>2</sup>	

Info

ID Cable2-1

From Bus\_Fault\_3 20 kV

To HVS-00.20kV/GI A 20 kV

Revision Data

Base

Equipment

Tag #

Name

Description

Condition

Service  In  Out

State As-built

No. of Conductors / Phase

2

Length

Length 700 m

Tolerance 0 %

Library

Library...

Link to Library

Connection

3 Phase  1 Phase

OK Cancel

Library Quick Pick - Cable

Unit	Freq	Type	kV	% Class	#/C	Insul	Source	Install	
435	Metric	50	CU	11	100	3/C	XLPE	BS5622	Mag.
436	Metric	50	CU	15	100	3/C	Rubber	ICEA	Mag.
437	Metric	50	CU	15	100	1/C	Rubber 2	ICEA	Mag.
438	Metric	50	CU	33	100	1/C	EPR	BS5622	Mag.
439	Metric	50	CU	33	100	3/C	EPR	BS5622	Mag.
440	Metric	50	CU	33	100	1/C	XLPE	BS5622	Mag.
441	Metric	50	CU	33	100	3/C	XLPE	BS5622	Mag.
442	Metric	50	CU	0.5	100	1/C	Polyvinyl	BS5004	Non-Mag.
443	Metric	50	CU	0.5	100	2/C	Polyvinyl	BS5141	Non-Mag.
444	Metric	50	CU	0.5	100	3/C	Polyvinyl	BS5141	Non-Mag.
445	Metric	50	CU	0.5	100	4/C	Polyvinyl	BS5141	Non-Mag.
446	Metric	50	CU	0.5	100	2/C	Polyvinyl	BS5000	Non-Mag.
447	Metric	50	CU	0.5	100	3/C	Polyvinyl	BS5000	Non-Mag.
448	Metric	50	CU	0.5	100	4/C	Polyvinyl	BS5000	Non-Mag.
449	Metric	50	CU	0.5	100	5/C	Polyvinyl	BS5000	Non-Mag.

Size

U/G Ampacity	A/G Ampacity	Unit	Rac Base	Size	Phase	PE
Ta	Tc	RHD	Ta	Tc	Length	Temp.
25	90	100	40	90	1000 m	75

Size

60

70

95

120

150

185

mm<sup>2</sup>

Avail. Sizes  All Sizes

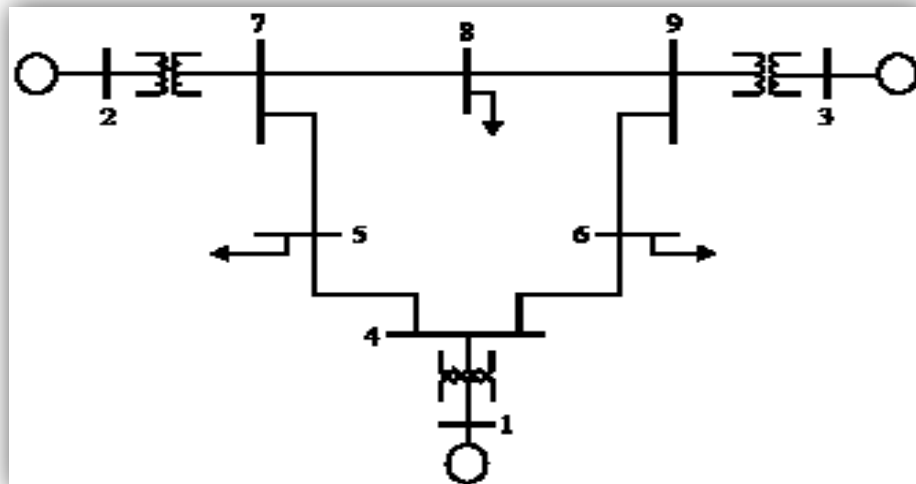
Help OK Cancel

Gambar 3.7 Tampilan Input Data Saluran

## BAB IV ANALISIS HASIL

### 4.1 Sistem IEEE 9 Bus

Pada uji coba sistem menggunakan data *example* IEEE 9 bus ini akan dilakukan simulasi gangguan lepasnya generator yang disebabkan oleh adanya *short circuit* tiga fasa yang terjadi pada bus generator. Sehingga apabila terjadi perubahan pada frekuensi dan tegangan yang melebihi batas normal, untuk menjaga sistem tetap aman terutama generator dari adanya *short circuit* diatas maka akan dilakukan pelepasan generator. Setelah dilakukan pelepasan generator maka frekuensi dan tegangan akan turun dimana akibat lepasnya generator maka akan mengakibatkan sistem mengalami *overload*. Dengan menghitung nilai *overload*, laju penurunan frekuensi, waktu saat terjadi nya penurunan frekuensi dibawah nilai yang diizinkan serta waktu dilakukanya *load shedding* maka kita selanjutnya dapat melakukan pelepasan beban berdasarkan laju penurunan frekuensi, sehingga diharapkan frekuensi dapat kembali ke nilai yang diizinkan. Simulasi kali ini akan dilakukan menggunakan *software* Etap power station dengan bantuan *tools transient stability analysis*, dimana *initial load flow* nya menggunakan metode *newton raphson*. Dimana pada IEEE 9 bus menggunakan V base sebesar 230 KV.



Gambar 4.1. *Single Line* Sistem IEEE 9 Bus<sup>[15]</sup>

Dan berikut ini merupakan data *standart* serta hasil running load flow dari IEEE 9 bus sistem yang digunakan sebelum nantinya menggunakan data lapangan PT. Petrokimia Gresik.

Tabel 4.1 Data Pembangkitan dan Beban dari IEEE 9 Bus Sistem

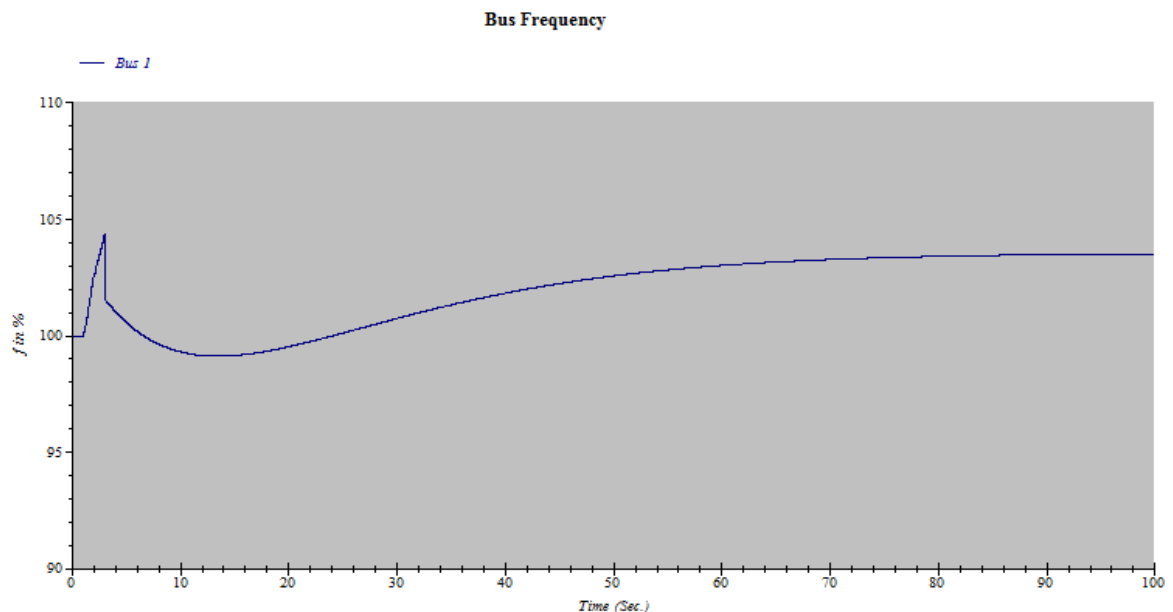
Nama Generator	S (MVA)	P Gen (MW)	P Operation (MW)	H (MW-s/MVA)	Load (MW)
G1	247,5	247,5	71,337	9,55	314,67 6
G2	192	163,2	163	3,33	
G3	128	108,8	85	2,35	

Seperti yang terlihat pada tabel 4.1 diatas bahwa pada sistem IEEE 9 bus, total daya pembangkitan yang sebesar 319,337 MW. Dimana setelah melakukan *running load flow* total rugi-rugi daya sistem sebesar 4,661 MW, sehingga total daya permintaan sebesar 319,337 MW.

#### 4.1.1 Simulasi dan Analisa

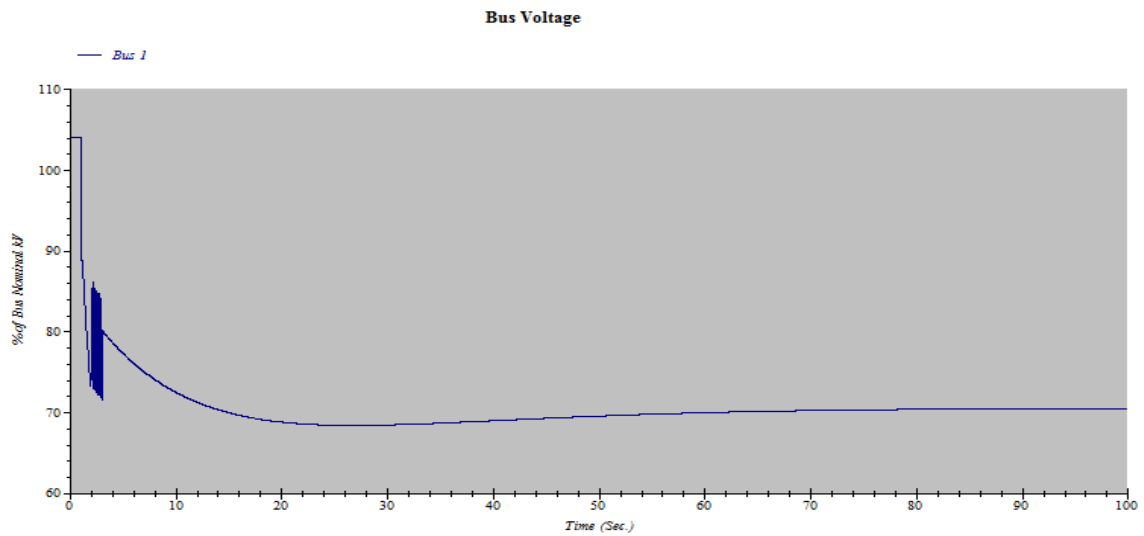
Simulasi sistem dilakukan dengan memberi gangguan hubung singkat 3 fasa pada sistem, langkah selanjutnya adalah melepas generator untuk mengamankan sistem dan mengetahui apakah sistem telah kembali normal. Langkah terakhir adalah melakukan perhitungan dan simulasi *load shedding* untuk mendapatkan kondisi sistem kembali normal. Simulasi yang dilakukan adalah dengan melepas generator pada saat gangguan.

Simulasi gangguan *short circuit* 3 fasa ini akan disimulasikan pada detik ke satu pada bus 3, serta akan dilihat respon tegangan dan frekuensi pada sistem akibat adanya gangguan *short circuit* pada bus tiga generator. Pada gambar 4.2 dan 4.3 dibawah dapat dilihat respon frekuensi dan tegangan akibat gangguan *short circuit* 3 fasa pada bus 3.

Gambar 4.2 Respon Frekuensi Saat *Short Circuit* 3 fasa

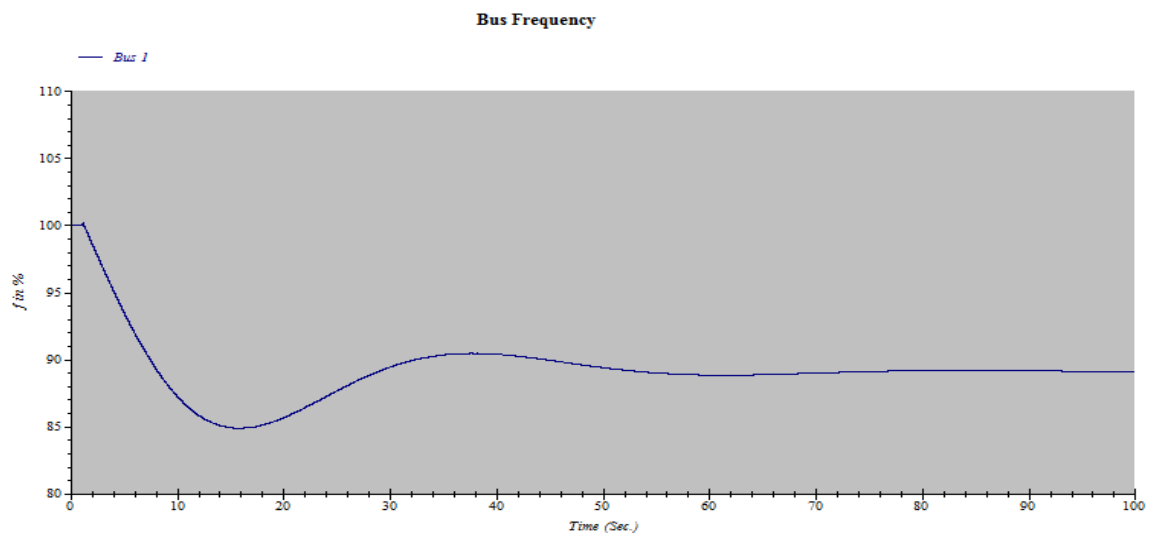
Dari gambar 4.2 diatas terlihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa frekuensi sistem mengalami kenaikan sampai 52,5 Hz selama kurang lebih dua detik

sejak terjadinya gangguan. Setelah itu frekuensi mengalami *steady state* pada detik ke 50 dengan frekuensi sebesar 51,8 Hz.



Gambar 4.3 Respon Tegangan Saat *Short Circuit* 3 fasa

Sedangkan pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa tegangan mengalami penurunan mencapai 0,8 p.u (184 KV) selama dua detik setelah itu mengalami *steady state* pada nilai 0,7 p.u (161 KV) di detik ke 20. Untuk mengamankan generator dari *short circuit* 3 fasa diatas maka dilakukan pelepasan generator G3 pada detik ke 1,1. Akibat dari lepasnya generator G3 pada detik ke 1,1 dapat dilihat respon frekuensi pada gambar 4.4 dibawah.



Gambar 4.4 Respon Frekuensi Saat G3 lepas

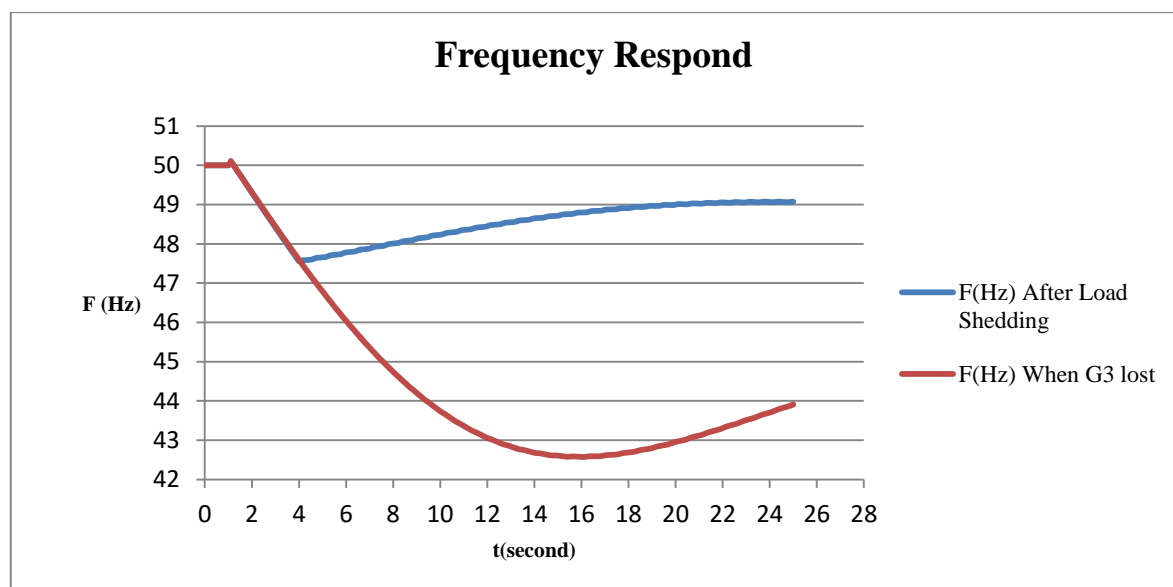
Berdasarkan gambar 4.4 diatas terlihat bahwa penurunan frekuensi akibat lepasnya G3 terjadi pada detik ke 1,1 dimana frekuensi turun menjadi 42,5 Hz pada detik ke 16, memasuki detik 30 keatas frekuensi mulai mencapai *steady state* pada frekuensi sebesar 44,5 – 45 Hz. Penurunan frekuensi ini terjadi sistem kehilangan suplai

daya aktifnya akibat dilakukannya pelepasan generator G3, sehingga perlu dilakukan *load shedding* untuk mengembalikan nilai frekuensi ke batas nominal yang diizinkan.

Karena terjadi penurunan frekuensi sistem maka dilakukanlah pelepasan beban menggunakan static UFLS dimana berdasarkan perhitungan didapat pelepasan beban dilakukan pada detik ke 3,9. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah. Dimana jumlah beban yang dilepas akibat lepasnya G3 dengan kapasitas 108,8 MW adalah sebesar 92,64 MW.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Static UFLS

Gen	S (MVA)	H (MW-s/MVA)	H System	OL (G3 Lepas)	df/dt (Hz/s)	Ti (sec)
G1	247,5	9,55	5,821	0,21	-0,88	3,9
G2	192	3,33				
G3	128	2,35				

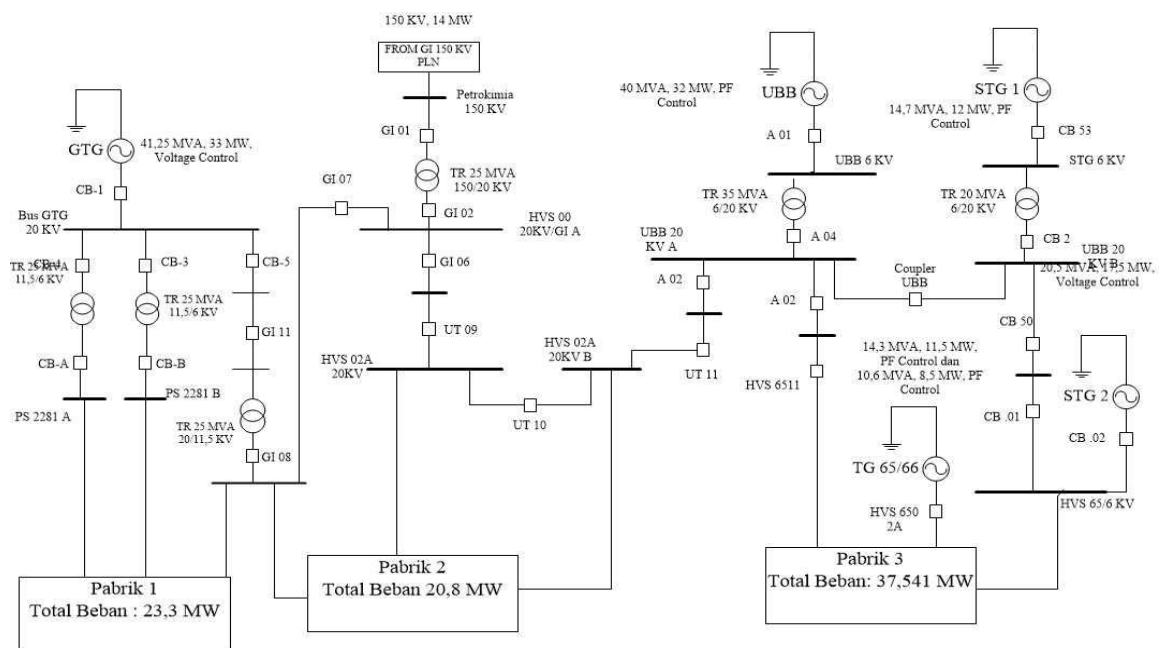


Gambar 4.5 Respon Frekuensi Sebelum dan Sesudah *Load shedding*

Berdasarkan gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa setelah dilakukan *load shedding* frekuensi sistem yang mulanya turun hingga 42,5 Hz pada detik ke 16 mengalami kenaikan frekuensi menjadi 49,13 Hz pada detik ke 20, dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar 13,26%. Setelah itu frekuensi mengalami *steady state* di nilai 49,1 Hz. Sehingga dapat disimpulkan dengan lepasnya G3 berkapasitas 108,8 MW frekuensi turun menjadi 42,5 Hz, dimana setelah dilakukan *load shedding* frekuensi naik menjadi 49,1 Hz dengan jumlah beban yang dilepas sebesar 92,64 MW.

## 4.2 Sistem Petrokimia Gresik

Analisa dan simulasi dilakukan pada sistem kelistrikan PT. Petrokimia Gresik, dimana nantinya akan dilakukan simulasi gangguan lepasnya generator yang disebabkan oleh adanya *short circuit* tiga fasa yang terjadi pada bus Petrokimia. Sehingga apabila terjadi perubahan pada frekuensi dan tegangan yang melebihi batas normal, untuk menjaga sistem tetap aman terutama generator dari adanya *short circuit* diatas maka akan dilakukan pelepasan generator/pembangkit. Setelah dilakukan pelepasan generator maka frekuensi dan tegangan akan turun dimana akibat lepasnya generator maka akan mengakibatkan sistem mengalami *overload*. Dengan menghitung nilai *overload*, laju penurunan frekuensi, waktu saat terjadi nya penurunan frekuensi dibawah nilai yang diizinkan serta waktu dilakukanya *load shedding* maka kita selanjutnya dapat melakukan pelepasan beban berdasarkan laju penurunan frekuensi, sehingga diharapkan frekuensi dan tegangan dapat kembali ke nilai yang diizinkan. Simulasi kali ini akan dilakukan menggunakan *software Etap power station* dengan bantuan *tools transient stability analysis*, dimana *initial load flow* nya menggunakan metode *newton raphson*.

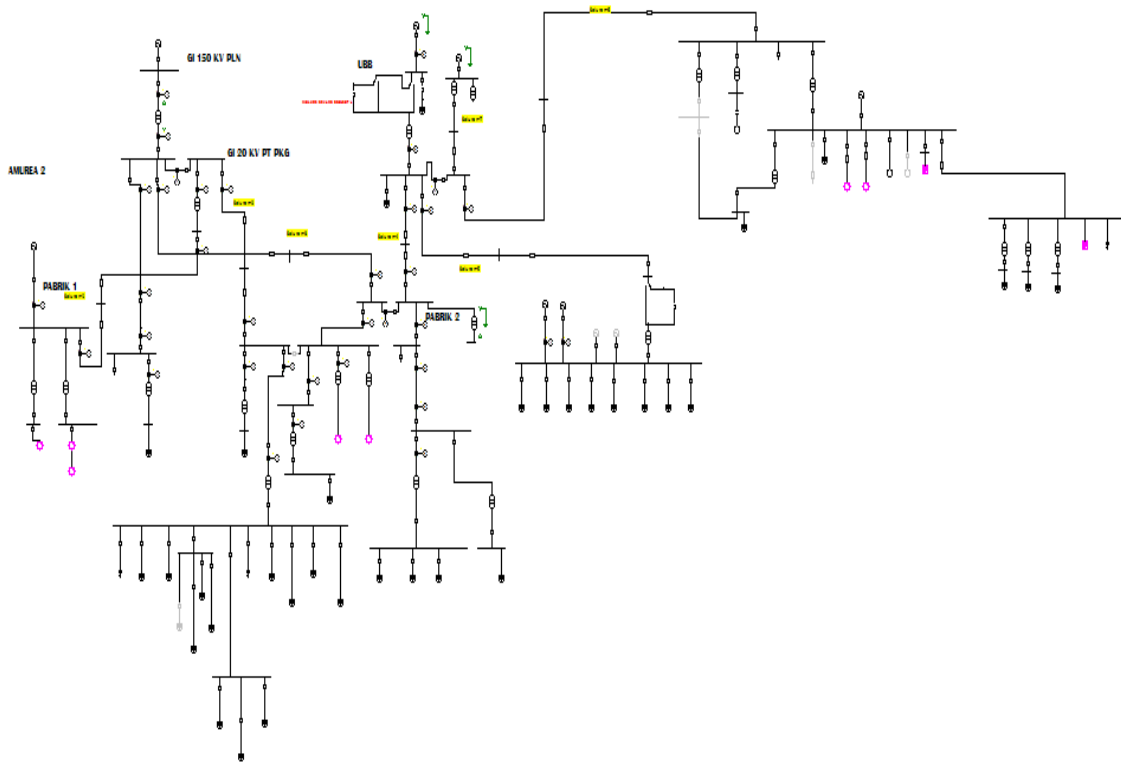


Gambar 4.6. Single Line Petrokimia Gresik

Pada gambar 4.6 diatas terlihat bahwa pada sistem kelistrikan petrokimia gresik terdapat tiga buah pabrik dimana total beban untuk semua pabrik adalah sebesar 81,641 MW serta dari total tiga pabrik diatas disuplai dari tujuh pembangkit

Berikut ini gambar 4.7 menunjukkan *single line* sistem 20 KV petrokimia gresik yang telah digambar pada *software ETAP Power Station*.





Gambar 4.7. Single line Petrokimia Gresik pada software ETAP Power Station

Setelah melakukan *running load flow* pada software ETAP dapat dijelaskan bahwa total beban sistem sebesar 81,641 MW dengan total daya pembangkitan sebesar 82 MW. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada tabel 4.3 dibawah.

Tabel 4.3 Data Total Pembangkitan dan Beban Setelah *Running Load Flow*

Nama Generator	S (MVA)	P gen (MW)	P operation (MW)	H (MW-s/MVA)	Total Beban (MW)
GTG	41,25	33	20	4	81,641
UBB	40	32	13	4	
Revamp	20,588	17,5	15,5	3,2	
Cogen	14,706	12,5	5,5	2,7	
TG-65	10,625	8,5	7,5	1,129	
TG-66	14,375	11,5	8,5	1,129	
PLN	16,151	14	12	4	
<b>Jumlah</b>	<b>157,695</b>	<b>129</b>	<b>82</b>	<b>20,158</b>	

Pada tabel 4.3 dapat kita lihat bahwa total beban pada sistem sebesar 81,641 MW, dimana beban ini terdiri dari pabrik 1 sebesar 23,3 MW, pabrik 2 sebesar 20,8 MW dan pabrik 3 sebesar 37,541 MW dengan total pembangkitan sebesar 82 MW. Dimana total permintaan beban setelah dilakukan *running load flow* menjadi sebesar 81,932 MW hal ini dikarenakan terdapat total rugi –rugi dalam sistem sebesar 0,291 MW.

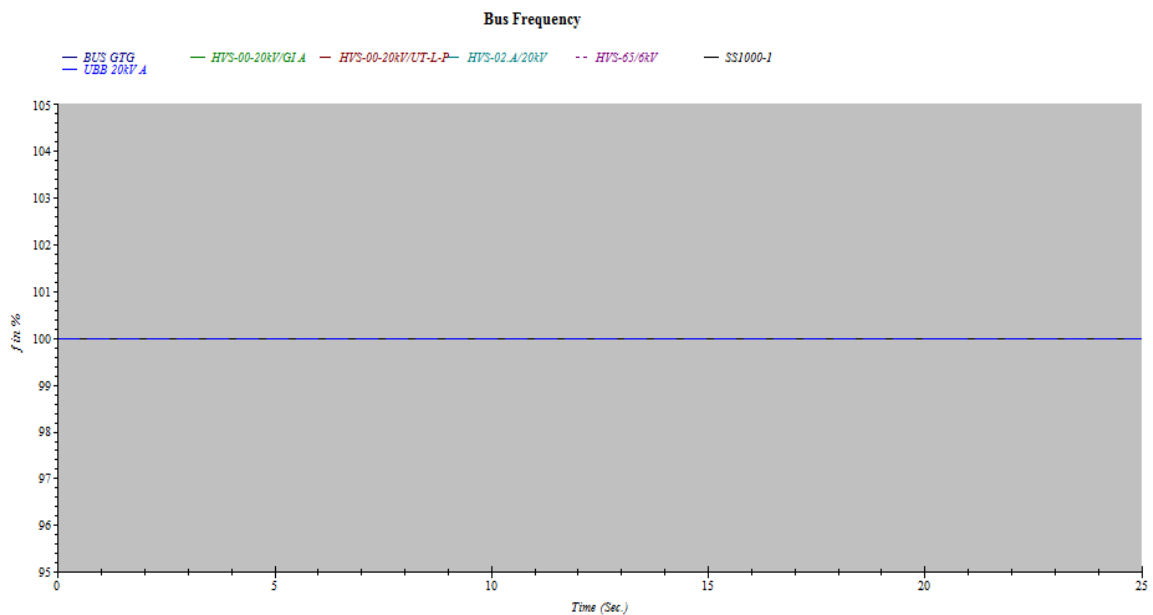
#### 4.2.1 Simulasi Sistem Keadaan Normal

Pada simulasi ini akan dilakukan simulasi transient dengan *initial load flow newton raphson* untuk mengetahui parameter sistem pada saat kondisi normal dimana parameter yang diamati adalah nilai frekuensi dan tegangan pada sistem.

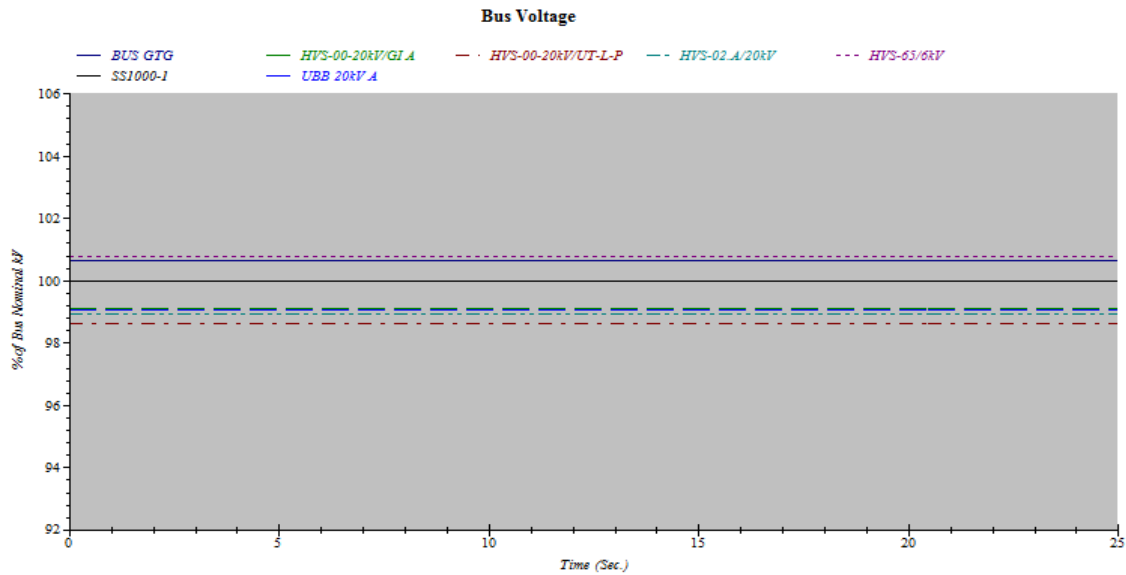
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Sistem Keadaan Normal

Bus	Tegangan (p.u)	Frekuensi (Hz)
GTG	1	50
HVS 00-20KV/GI A	0,99	
HVS-00-20KV/UT-L-P	0,98	
UBB 20KVA	0,99	
SS1000-1	1	
HVS-65/6KV	1	
HVS-02.A/20KV	1	

Berdasarkan hasil simulasi pada keadaan normal pada tabel 4.4 didapat, frekuensi sistem *steady state* pada nilai 50 Hz, sedangkan tegangan pada masing – masing bus masih dalam nilai yang diizinkan yaitu antara 0,90-1,05 p.u.



Gambar 4.8. Respon Frekuensi Saat Kondisi Sistem Normal



Gambar 4.9. Respon Tegangan Saat Kondisi Sistem Normal

Berdasarkan tabel 4.4 dan gambar 4.8 serta 4.9 dapat dikatakan pada kondisi normal, sistem dalam keadaan aman dikarenakan frekuensi dan tegangan masih dalam batas yang diizinkan.

#### 4.2.2 Gangguan Tiga Fasa Pada Sistem

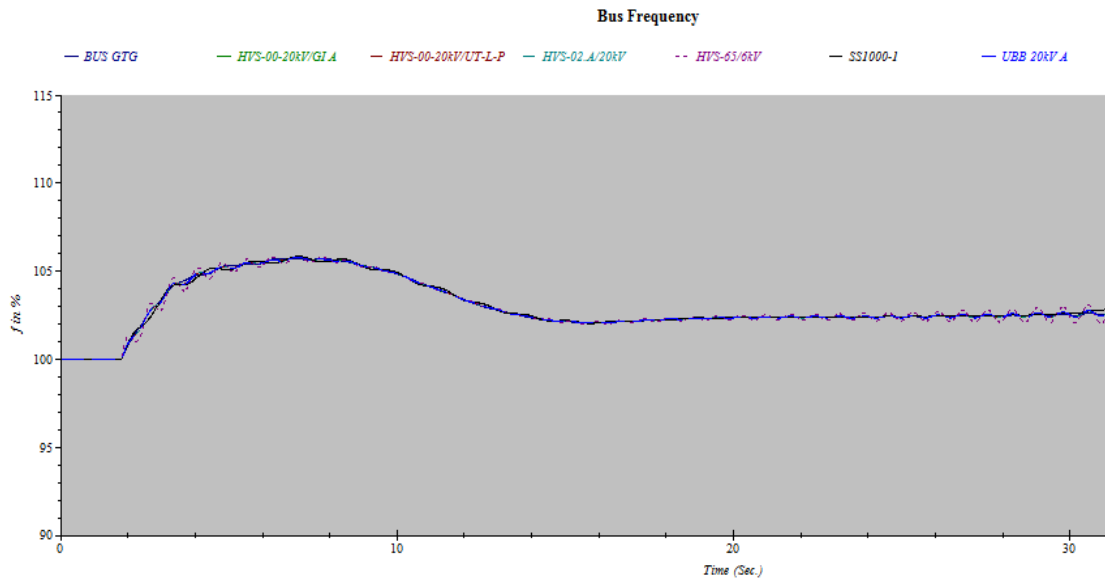
Simulasi sistem saat gangguan dilakukan dengan memberi gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus 150 KV sistem Petrokimia, langkah selanjutnya adalah melepas generator untuk mengamankan sistem dan mengetahui apakah sistem telah kembali normal. Langkah terakhir adalah melakukan perhitungan dan simulasi *load shedding* untuk mengembalikan kondisi sistem kembali normal. Simulasi yang dilakukan adalah dengan melepas generator pada saat gangguan.

Simulasi gangguan *short circuit* 3 fasa ini akan disimulasikan pada detik ke 1,8 pada bus petrokimia Gresik 150 KV, serta akan dilihat respon tegangan dan frekuensi pada sistem akibat adanya gangguan *short circuit* pada bus petrokimia Gresik 150 KV. Pada perhitungan dibawah adalah perhitungan untuk mengetahui besarnya arus gangguan tiga fasa<sup>[16]</sup>.

$$\text{Step 1 : } I_{L-L} = \frac{\text{KVA} \times 1000}{E_{L-L} \times \sqrt{3}} = \frac{25000 \times 1000}{20000 \times 1,732} = 721,7 A$$

$$\text{Step 2 : } \text{Multiplier} = M = \frac{100}{* \% Z_{\text{Transfomes}}} = \frac{100}{5} = 20 A$$

$$\text{Step 3 : } I_{\text{Short circuit}} = I_{L-L} \times M = 721,7 \times 20 = 14,434 KA$$



Gambar 4.10 Respon Frekuensi Saat *Short Circuit* 3 fasa

Dari gambar 4.10 diatas terlihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dengan arus gangguan sebesar 14,434 KA sistem mengalami kenaikan frekuensi mencapai 52.85 Hz pada detik ke empat. Setelah itu frekuensi mengalami *steady state* pada detik ke 5 dengan frekuensi sebesar 52 Hz.

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Sistem Saat *Short Circuit* 3 Fasa

Bus	Tegangan (p.u)	Frekuensi (Hz)
GTG	0,64	52,85
HVS 00-20KV/GI A	0,5	
HVS-00-20KV/UT-L-P	0,5	
UBB 20KVA	0,52	
SS1000-1	0,79	
HVS-65/6KV	0,81	
HVS-02.A/20KV	0,51	

Berdasarkan tabel 4.5 dapat kita simpukan bahwa pada saat *short circuit* nilai frekuensi dan tegangan tidak berada pada batas operasi yang diizinkan dimana untuk frekuensi  $\pm 0,5$  Hz dari frekuensi nominal atau pada kondisi darurat boleh naik mencapai 52 Hz, sedangkan tegangan berada pada nilai 0,90-1,05p.u. Akibat adanya kenaikan frekuensi yang melebihi batas sebesar 52 Hz, maka untuk mengamankan sistem dari kenaikan frekuensi serta menghindari kerusakan pada generator maka dilakukan dua skenario untuk mengamankan sistem, yang dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah.

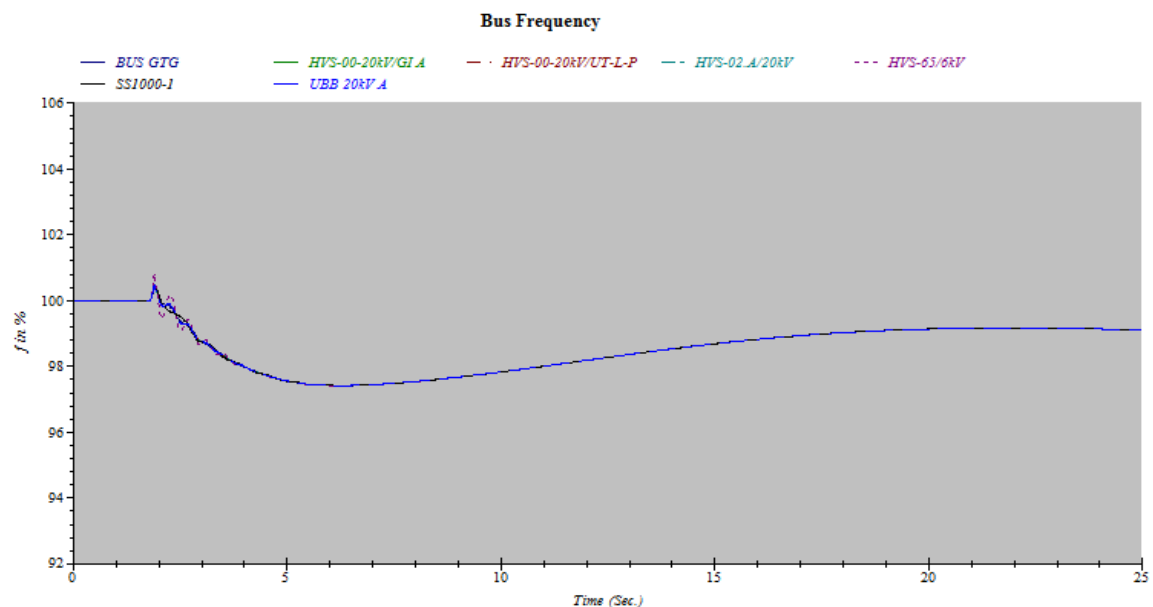
Tabel 4.6 Skenario Pelepasan *Breaker* Pengaman akibat *Short Circuit* 3 Fasa

Skenario	Pembangkit Lepas	Breaker Open
1	PLN Lepas	GI 01
		GI 02
		CB27
2	PLN dan GTG Lepas	CB-1
		GI 01
		GI 02
		CB27

Skenario pelepasan generator akibat *short circuit* 3 fasa dapat dilihat pada tabel 4.6 di atas dimana terdapat dua skenario yang akan dilakukan untuk mengamankan sistem dan pembangkit dari gangguan 3 fasa, yang pertama dengan melepas pembangkit PLN melalui breaker/pengaman yang menghubungkan sumber PLN 150 KV ke sistem, yang kedua dengan melepas dua pembangkit yang terinterkoneksi dengan sumber PLN.

#### 4.2.3 Skenario 1

Untuk mengamankan sistem dan generator dari short circuit 3 fasa diatas maka dilakukan pelepasan pembangkit PLN dan beban yang terhubung pada bus petrokimia pada detik ke 1,9 melalui *breaker* pengaman GI 01, GI 02 dan CB27. Akibat dari lepasnya pembangkit PLN pada detik ke 1,9 dapat dilihat respon frekuensi pada gambar 4.11 dibawah.



Gambar 4.11 Respon Frekuensi Saat PLN lepas

Berdasarkan Gambar 4.11 diatas terlihat bahwa penurunan frekuensi akibat lepasnya pembangkit PLN pada detik ke 1,9 dimana frekuensi turun menjadi 48,74 Hz pada detik ke 5, memasuki detik ke 15 frekuensi mulai mencapai *steady state* pada nilai

49,45 Hz. Dikarenakan nilai frekuensi yang turun dibawah standar yang telah ditentukan, Sehingga perlu dilakukan *load shedding* untuk mengembalikan nilai frekuensi ke batas nominal yang diizinkan. Berdasarkan hasil simulasi saat pembangkit PLN lepas, dapat diringkas pada tabel 4.7 dibawah.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi Saat PLN Lepas Pada Tiap Main Bus

Bus	Tegangan (p.u)	Frekuensi (Hz)
GTG	1	48,74
HVS 00-20KV/GI A	0,97	
HVS-00-20KV/UT-L-P	0,97	
UBB 20KVA	0,97	
SS1000-1	0,99	
HVS-65/6KV	0,99	
HVS-02.A/20KV	0,97	

#### 4.2.3.1 Static Under-Frequency Load shedding

*Static load shedding* adalah salah satu cara yang paling banyak digunakan untuk mengembalikan nilai frekuensi ke nilai yang diizinkan selama terjadinya gangguan besar berdasarkan perhitungan pada metode static UFLS, selanjutnya dengan formula yang telah dijelaskan pada bab 2 dan data pada bab 3, maka kita dapat memulai perhitungan untuk menghitung total inertia sistem, laju penurunan frekuensi dan waktu pelepasan beban. Dimana hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 6 dibawah. Melalui perhitungan dibawah kita bisa mendapat bahwa nilai *overload* akibat dari lepasnya pembangkit PLN adalah sebesar 0,12173.

- Menghitung nilai overload saat PLN lepas dari sistem PT. Petrokimia

$$OL = \frac{-P_{so}}{P_{GOT} - P_{SOT}}$$

$$OL = \frac{-14}{129 - 14} = -0,12173$$

Atau dapat juga ditulis dalam bentuk persen sebesar 12,173%

- Mengitung total inertia sistem ( $H_{system}$ )

$$H_{system} = \frac{\sum_{k=1}^N H_k \times V_{Ak}}{\sum_{k=1}^N V_{Ak}}$$

$$H_{\text{system}} = \frac{(41,25 \times 4) + (40 \times 4) + (20,288 \times 3,2) + (14,706 \times 2,7) + (10,625 \times 1,129) + (16,151 \times 4)}{41,25 + 40 + 20,588 + 14,706 + 10,625 + 14,375 + 16,151}$$

$$H_{\text{system}} = 3,319 \text{ MW - s/MVA}$$

- Menghitung besar laju penurunan frekuensi saat PLN lepas dari sistem

$$\frac{df}{dt} = \frac{OL \times f}{2 \times H_{\text{net}}}$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{-0,12173 \times 50}{2 \times 3,319} = -0,9169 \text{ Hz/s}$$

- Menghitung *load shedding time*

$$T(f) = \frac{1 - \frac{f}{f_0}}{\frac{OL}{2 \times H_{\text{system}}}}$$

$$T(48,74) = \frac{48,74 - 50}{-0,9169} = 1,374 \text{ sec}$$

$$T_{\text{load Shedding}} = T_{\text{awal gangguan}} + T_i$$

$$T_{\text{load Shedding}} = 1,9 + 1,374 = 3,03 \text{ sec}$$

Dimana setelah dilakukan perhitungan menggunakan *static* UFLS didapat laju penurunan frekuensi saat PLN lepas sebesar -0,9169 Hz/second dan waktu pelepasan beban pada detik ke 3,03 second, seperti terlihat pada tabel 4.8 dibawah :

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Static* UFLS

Nama Generator	H (MW-s/MVA)	H system	Overload	df/dt (Hz/s)	T load shedding (sec)
GTG	4	3,319	0,12173	-0,9169	3,03
UBB	4				
Revamp	3,2				
Cogen	2,7				
TG-65	1,129				
TG-66	1,129				
PLN	4				

Setelah kita mendapat besaran laju penurunan frekuensi kita dapat menghitung waktu pelepasan beban seperti pada perhitungan diatas. Dari perhitungan diatas maka didapat bahwa pada detik 3,03 frekuensi mulai mendekati 48,74 Hz. Untuk jumlah

beban yang dilepas dapat dilakukan berdasarkan skala prioritas beban penting dalam industri PT. PETROKIMIA GRESIK seperti terlihat pada tabel 4.9 dibawah.

- Menghitung besar *overload* dan laju penurunan frekuensi setelah *dilakukan load shedding*

$$OL_{\text{new}} = \frac{-P_{\text{SO}} + P_{\text{IS}}}{P_{\text{GOT}} - P_{\text{SOT}}} = \frac{-14 + 8,429}{129 - 14}$$

$$OL_{\text{new}} = -0,048443478$$

serta besarnya laju penurunan frekuensi setelah *load shedding* sebesar :

$$\frac{df}{dt_{\text{new}}} = \frac{OL \times f}{2 \times H_{\text{net}}} = \frac{0,048443478 \times 50}{2 \times 3,319}$$

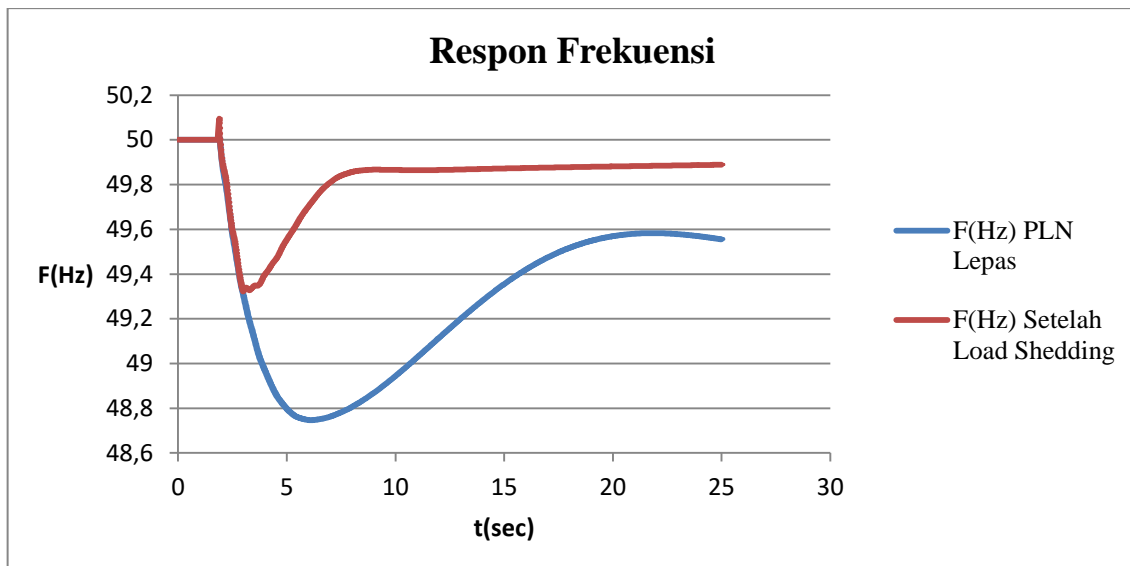
$$\frac{df}{dt_{\text{new}}} = -0,36487624 \text{ Hz/s}$$

Tabel 4.9 Data Pelepasan Beban dan Perhitungan Setelah Simulasi

Data Pelepasan Beban		<i>Overload</i> Setelah <i>Load</i> <i>Shedding</i>	df/dt setelah <i>load</i> <i>Shedding</i>	Batas Bawah Frekuensi (Hz)	Frekuensi <i>steady</i> <i>state</i> (Hz)
Nama Breaker	Total Beban (MW)				
PJA	5	0,048443478	0,364876247	49,4	49,88
FC	0,106				
CB-28.0	0,301				
CB 39	0,352				
CB 30	2,67				
<b>Total</b>	<b>8,429</b>				

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diatas maka jumlah beban yang akan dilepas berdasarkan skala prioritas beban penting pada tabel 4.9 diatas adalah sebesar 8,249 MW dengan laju penurunan frekuensi sebesar -0,36 Hz/s. Pelepasan beban dipilih pada laju penurunan frekuensi sebesar -0,36 Hz/s dikarenakan pada pelepasan beban sebesar 8,249 MW, frekuensi telah kembali ke nilai yang diizinkan, selain itu juga untuk menghindari *over load shedding*. Hal ini sesuai dengan kriteria dari pelepasan beban yaitu beban yang dilepaskan haruslah seminimal mungkin untuk menghindari kerugian akibat pemadaman. Dimana akibat lepasnya pembangkit sebesar 14 MW maka diperlukan pelepasan beban sebesar 8,429 MW untuk mengembalikan nilai frekuensi ke batas nilai yang diizinkan. Pada gambar 4.12 dibawah merupakan grafik respon frekuensi sebelum (saat PLN lepas) dan sesudah dilakukan *load shedding*.





Gambar 4.12 Respon Frekuensi Setelah *Load Shedding*

Berdasarkan Gambar 4.12 diatas dapat dilihat bahwa setelah dilakukan *load shedding* frekuensi sistem yang mulanya turun hingga 48,74 Hz mengalami kenaikan frekuensi menjadi 49,5 Hz pada detik ke 4 sampai 6, dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar 1,53 %. Setelah itu frekuensi mengalami *steady state* di nilai 49,88 Hz. Sedangkan pada tabel 4.10 dan 4.11 dibawah merupakan nilai frekuensi serta tegangan akibat lepasnya PLN dan setelah *load shedding*.

Tabel 4.10 Kondisi Frekuensi Sebelum dan Sesudah *Load shedding*

time (sec)	Frekuensi Saat PLN Lepas (Hz)	Frekuensi Setelah <i>Load Shedding</i> (Hz)
1	50	50
2	49,9	49,9
3	49,29	49,55
4	49	49,40
5	48,79	49,47
6	48,74	49,50
7	48,78	49,79
8	48,8	49,82
9	48,87	49,83
10	48,94	49,84
11	49,02	49,85
12	49,12	49,86
13	49,2	49,86
14	49,28	49,87
15	49,36	49,88
16	49,30	49,88

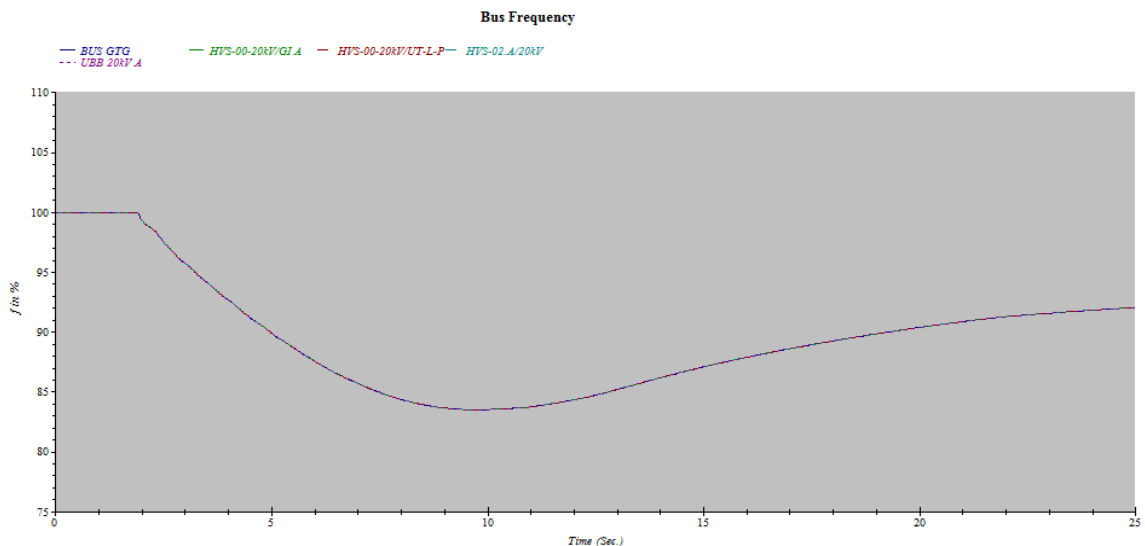
Tabel 4.11 Kondisi Tegangan Sebelum dan Sesudah *Load shedding*

Bus	Tegangan (p.u)		
	Saat Short Circuit	PLN Lepas	Setelah <i>Load Shedding</i>
GTG	0,64	1	1
HVS 00-20KV/GI A	0,5	0,97	0,99
HVS-00-20KV/UT-L-P	0,5	0,97	0,99
UBB 20KVA	0,52	0,97	1
SS1000-1	0,79	0,99	1
HVS-65/6KV	0,81	0,99	0,99
HVS-02.A/20KV	0,51	0,97	0,99

Sehingga berdasarkan hasil diatas dapat dikatakan *load shedding* berhasil meningkatkan nilai frekuensi serta tegangan ke nilai yang diizinkan. Nilai perubahan frekuensi pada setiap detiknya dapat dilihat pada tabel 4.10 dimana waktu sampel diambil mulai 0-16 *second*, sedangkan pada tabel 4.11 dapat dilihat perubahan tegangan pada setiap bus.

#### 4.2.4 Skenario 2

Simulasi sistem dilakukan dengan memberi gangguan hubung singkat 3 fasa pada sistem, langkah selanjutnya adalah melepas generator untuk mengamankan sistem dan mengetahui apakah sistem telah kembali normal. Langkah terakhir adalah melakukan perhitungan dan simulasi *load shedding* untuk mendapatkan kondisi sistem kembali normal. Dalam skenario 2 disini kita akan mencoba untuk melepas dua generator untuk mengetahui respon sistem berupa frekuensi apabila dua pembangkit berupa PLN dan GTG dalam kondisi lepas dari sistem akibat kenaikan frekuensi saat terjadi gangguan 3 fasa. Pada gambar 4.13 dibawah kita dapat melihat respon frekuensi sistem saat dua pembangkit lepas dari sistem.



Gambar 4.13 Respon Frekuensi Saat GTG dan PLN Lepas dari Sistem ( $t=1,9$  sec)

Berdasarkan gambar 4.13 diatas terlihat bahwa penurunan frekuensi akibat lepasnya pembangkit PLN dan GTG pada detik ke 1,9 dimana frekuensi turun menjadi 41,75 Hz pada detik ke 9, memasuki detik 20 frekuensi mulai mencapai *steady state* pada frekuensi sebesar 46 Hz. Sehingga perlu dilakukan *load shedding* untuk mengembalikan nilai frekuensi ke batas nominal yang diizinkan.

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Saat Kondisi PLN dan GTG Lepas

Bus	Tegangan (p.u)		Frekuensi (Hz)
	Saat Short Circuit	PLN dan GTG Lepas	
GTG	0,64	0,77	41,75
HVS 00-20KV/GI A	0,5	0,8	
HVS-00-20KV/UT-L-P	0,5	0,8	
UBB 20KVA	0,52	0,81	
HVS-02.A/20KV	0,51	0,81	
SS1000-1	0,79	0,97	
HVS-65/6KV	0,81	1	

Berdasarkan hasil simulasi saat pembangkit PLN dan GTG lepas, dapat diringkas pada tabel 4.12 diatas, dimana pada tabel diatas tertera nilai frekuensi dan tegangan ketika PLN dan GTG lepas dari sistem. Terdapat 5 *main bus* yang kondisi tegangan nya dibawah nilai yang diizinkan yaitu sebesar 0,9 p.u.

#### 4.2.4.1 Static Under-Frequency Load Shedding

Selanjutnya dengan formula atau rumus yang telah dijelaskan pada bab 2, maka kita dapat memulai perhitungan untuk menghitung total inertia sistem, laju penurunan frekuensi dan waktu pelepasan beban seperti pada skenario satu sebelumnya. Dimana

hasil perhitungan menggunakan *static load shedding* dapat dilihat pada tabel 4.13 dibawah.

- Menghitung besarnya nilai *overload* sistem saat PLN dan GTG lepas dari sistem

$$OL = \frac{-P_{so}}{P_{GOT} - P_{SOT}}$$

$$OL = \frac{-34}{129 - 47} = -0,4146$$

atau dapat juga ditulis dalam nilai prosentase sebesar 41,46%

- Menghitung besarnya nilai laju penurunan frekuensi saat PLN dan GTG lepas

$$\frac{df}{dt} = \frac{OL \times f}{2 \times H_{net}}$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{-0,4146 \times 50}{2 \times 3,319} = -3,1230 \text{ Hz/s}$$

- Menghitung waktu dilakukanya *load shedding*

$$T(f) = \frac{1 - \frac{f}{f_0}}{OL} \times \frac{1}{2 \times H_{system}}$$

$$T(47,5) = \frac{47,5 - 50}{-3,1230} = 0,8 \text{ sec}$$

$$T_{load \text{ Shedding}} = T_{awal \text{ gangguan}} + T_i$$

$$T_{load \text{ Shedding}} = 1,9 + 0,8 = 2,7 \text{ sec}$$

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan *Static UFLS*

Nama Generator	H (MW-s/MVA)	H system	Overload	df/dt (Hz/s)	Load shedding Time (sec)
GTG	4	3,319	-0,4146	-3,12	2,7
UBB	4				
Revamp	3,2				
Cogen	2,7				
TG-65	1,129				
TG-66	1,129				
PLN	4				

Setelah kita mendapat besaran laju penurunan frekuensi, kita dapat menghitung waktu saat frekuensi mendekati nilai yang diizinkan yaitu 47,5 Hz, menggunakan formula 4.10 Dari perhitungan menggunakan formula diatas maka didapat bahwa pada

detik 0,8 frekuensi mulai mendekati 47,5 Hz. Sehingga didapat waktu *load shedding* pada detik ke 2,7 second. Untuk jumlah beban yang dilepas maka dapat dilakukan berdasarkan skala prioritas beban penting dalam industri PT. Petrokimia Gresik, seperti pada tabel 4.14 dibawah.

- Menghitung besarnya nilai *overload* dan laju penurunan frekuensi setelah *load shedding*

$$OL_{\text{new}} = \frac{-P_{\text{so}} + P_{\text{ls}}}{P_{\text{GOT}} - P_{\text{SOT}}} = \frac{-34 + 33,258}{129 - 47} = -0,009048$$

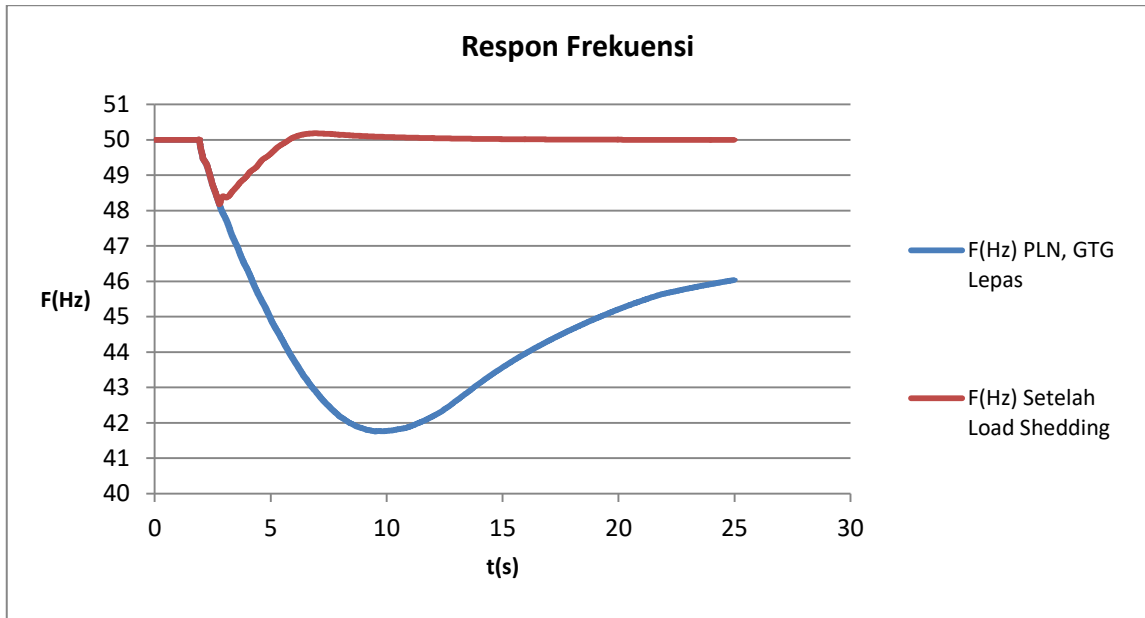
$$\frac{df}{dt}_{\text{new}} = \frac{OL \times f}{2 \times H_{\text{net}}} = \frac{-0,009048 \times 50}{2 \times 3,319} = 0,068 \text{ Hz/s}$$

Tabel 4.14 Data Pelepasan Beban dan Perhitungan Setelah Simulasi

No.	Data Pelepasan Beban		Overload Setelah Load Shedding	df/dt setelah load Shedding	Batas Bawah Frekuensi (Hz)	Frekuensi steady state (Hz)
	Nama Breaker Beban	Jumlah Beban (KW)				
1.	PJA	5000	-0,009048	-0,068	48,1	49,99
2.	CB-28.0	301				
3.	FC	106				
4.	CB-08	1515				
5.	CB-01	1765				
6.	CB-30	2670				
7.	CB-39	352				
8.	UT-02A	1990				
9.	CB-07	2060				
10.	CB-16	452				
11.	CB-29	1317				
12.	CB-275	1016				
13.	CB-44	2646				
14.	HVS6505	3400				
15.	HVS6505.	423				
16.	HVS6506	1915				
17.	CB-06	143				
18.	CB 2	1247				
19.	CB 21	1289				
20.	CB 3	1247				
21.	CB9	488				
22.	CB16	550				
23.	CB23	1366				
<b>Total (MW)</b>		<b>33,258</b>				

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diatas maka jumlah beban yang akan dilepas berdasarkan skala prioritas beban penting pada tabel 8 adalah sebesar 33,258 MW, dengan laju penurunan frekuensi sebesar -0,068 Hz/s. Pelepasan beban

dipilih pada laju penurunan frekuensi sebesar  $-0,068\text{Hz/s}$  dikarenakan pada pelepasan beban sebesar  $33,258\text{ MW}$ , frekuensi telah kembali ke nilai yang diizinkan, sedangkan jika dipilih pada nilai laju penurunan frekuensi dibawah atau diatas  $-0,068\text{ Hz/s}$ , hasil frekuensi yang didapat tidak maksimal karena beban yang harus dilepas hendaknya seminimal mungkin, untuk menghindari terjadinya *over load shedding*.



Gambar 4.14 Respon Frekuensi Setelah *Load Shedding*

Berdasarkan gambar 4.14 diatas dapat dilihat bahwa setelah dilakukan *load shedding* frekuensi sistem yang mulanya turun hingga  $41,75\text{ Hz}$  mengalami kenaikan frekuensi menjadi  $48,1\text{ Hz}$  pada detik ke 3, dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar  $15,20\%$ . Setelah itu frekuensi mengalami *steady state* di nilai  $49,99\text{ Hz}$  pada detik ke 10. Sehingga berdasarkan hasil diatas dapat dikatakan *load shedding* berhasil meningkatkan nilai frekuensi ke nilai yang diizinkan. Nilai perubahan frekuensi pada setiap detiknya dapat dilihat pada tabel 4.15 dimana waktu sampel diambil mulai 0-15 second, sedangkan pada tabel 4.16 dapat dilihat perubahan tegangan pada setiap bus.

Tabel 4.15 Kondisi Frekuensi Sebelum dan Sesudah *Load Shedding*

time (second)	Frekuensi (Hz)	
	Saat PLN dan GTG Lepas	Setelah <i>Load Shedding</i>
1	50	50
2	49,51	49,53
3	47,80	49,85
4	46,28	49,49
5	44,89	49,98
6	43,67	50,09
7	42,76	50,05
8	42,16	50,01
9	41,81	50
10	41,71	49,99
11	41,89	49,99
12	42,21	49,99
13	42,71	49,99
14	43,16	49,99
15	43,90	49,99

Tabel 4.16 Kondisi Tegangan Sebelum dan Sesudah *Load Shedding*

Bus	Tegangan (p.u)		
	Saat Short Circuit	PLN dan GTG Lepas	Setelah <i>Load Shedding</i>
GTG	0,64	0,77	0,95
HVS 00-20KV/GI A	0,5	0,8	0,98
HVS-00-20KV/UT-L-P	0,5	0,8	0,98
UBB 20KVA	0,52	0,81	0,98
HVS-02.A/20KV	0,51	0,81	0,98
SS1000-1	0,79	0,97	0,99
HVS-65/6KV	0,81	1	1

Pada tabel 4.15 diatas dilakukan sampel pada 15 detik pertama dari respon frekuensi pada kondisi transient, dimana pada saat kondisi setelah *load shedding* frekuensi sistem *steady state* pada nilai 49,99 Hz pada detik ke 10 sedangkan nilai tegangan pada setiap main bus telah berada pada nilai yang diizinkan yaitu 0,9-1,05 p.u.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dengan diperolehnya hasil analisis *Static UFLS* dengan menggunakan *software ETAP Power Station* maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

- A. Berdasarkan hasil simulasi saat short circuit 3 fasa didapat, frekuensi sistem mengalami kenaikan mencapai 52,85 Hz, selama kurang lebih empat detik. Setelah itu frekuensi mengalami steady state pada detik ke 10 dengan frekuensi sebesar 52 Hz. Jika hal ini diteruskan maka baik sistem ataupun generator akan mengalami kerusakan baik itu lepas sinkron dari sistem ataupun pemadaman total, oleh karena itu dilakukanlah beberapa skenario pelepasan generator untuk mengamankan sistem.
- B. Berdasarkan hasil simulasi pada skenario 1 saat pembangkit PLN lepas, dimana lepasnya pembangkit PLN terjadi pada detik ke 1,9. Frekuensi turun menjadi 48,74 Hz pada detik ke 5, memasuki detik 15 frekuensi mulai mencapai *steady state* pada frekuensi sebesar 49,45 Hz. Berdasarkan hasil simulasi pada skenario 2 saat pembangkit PLN dan GTG lepas, frekuensi turun menjadi 41,75 Hz pada detik ke 9, memasuki detik 20 frekuensi mulai mencapai *steady state* pada frekuensi sebesar 46 Hz. Akibat adanya penurunan frekuensi dibawah dari standar (47,5 Hz) maka perlu dilakukan *load shedding* untuk mengembalikan nilai frekuensi ke batas nominal yang diizinkan.
- C. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya menggunakan *static load shedding*, maka waktu *load shedding* dilakukan pada detik ke 3,03 pada skenario 1, sedangkan jumlah beban yang dilepas sebesar 8,429 MW. Untuk skenario 2 waktu *load shedding* dilakukan pada detik ke 3,3 sedangkan jumlah beban yang dilepas adalah sebesar 33,528 MW. Pada skenario 1, setelah dilakukan *load shedding* frekuensi sistem yang mulanya turun mencapai 48,74 Hz mengalami kenaikan frekuensi menjadi 49,5 Hz pada detik ke 5 sampai 6, dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar 1,53 %. Pada skenario 2 setelah dilakukan *load shedding*, frekuensi sistem yang mulanya turun hingga 41,75 Hz pada detik ke 2,1 mengalami kenaikan frekuensi menjadi 48,1 Hz, dengan prosentase kenaikan frekuensi sebesar 15,20 %. Setelah itu frekuensi mengalami *steady state* di nilai 49,99 Hz.



D. Berdasarkan hasil simulasi diatas maka dapat kita simpulkan bahwa dengan menggunakan metode *static under frequency load shedding* dapat meningkatkan kembali frekuensi sistem ke nilai yang diizinkan setelah terjadinya gangguan, dimana nantinya dengan adanya metode ini dapat dijadikan sebagai upaya untuk melakukan setting UFR (*under frequency relay*).

## 5.2 Saran

Dikarenakan sistem pemutusan beban pada PETROKIMIA Gresik masih menggunakan cara manual, maka disarankan nantinya pemutusan beban langsung dilakukan oleh UFR (*under frequency relay*), sehingga tidak diperlukan lagi lagi peran operator untuk mengamati pada sistem SCADA atau DCS. *Load shedding* merupakan solusi yang efektif untuk menjaga frekuensi akan tetap stabil setelah terjadi gangguan sehingga kontinuitas penyaluran listrik ke beban tetap normal dan diharapkan produksi dapat berjalan secara maksimal dan berkelanjutan. Gangguan penyebab terjadinya lepas pembangkit dapat dicoba menggunakan gangguan satu fasa ke tanah atau *line to line*, selain gangguan 3 fasa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moh, Zin; W.K, Wong; “*Static and Dyanamic Under – Frequency Load Shedding: A Comparasion*”, IEEE International Conference on Power System Technology – POWERCON, Singapore, 2004.
- [2] Grainger and Stevenson ,” *Power System Analysis*”, McGraw Hill, Inc, 1990.
- [3] Kazmi, Ahmed, Javed; “*Static Priority Approach to Under – Frequency Based Load Shedding Schemed in Islanded Industrial Networks : Using the Case Study of Fatima Fertilizer Company Ltd - FFL* “, IEEE Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, vol:9, N0:3. 2015.
- [4] Marsudi, Djiteng; “*Power System Operation (Operasi Sistem Tenaga Listrik)*”, Yogyakarta : Graha Ilmu. 2006
- [5] <http://artikel-teknologi.com/>; 13 Juni 2017
- [6] IEEE Std. C.37.117-2007; “*IEEE Guide for The Application of Protective Relays Used for Abnormal Frequency Load Shedding and Restoration*”.
- [7] Omar, Abidin, Rasyid; “*Under Frequency Load Shedding (UFLS) : Prinsiples and Implementation* “, IEEE International Conference on Power and Energy, dec 1. 2010.
- [8] Abidin, Lu, Masri, Lee S; “*Under-Frequency load shedding (UFLS) scheme – A Survey*”, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 1 (2016) pp 456-472.
- [9] Juan M. Gers and Edward J.Holmes. ” *Protection of Electricity Distribution Networks*”, IET (Institution of Electrical Engineers), 2004.
- [10] L. E. Ling, V. Wong, and N. M. Vong; “*Wide Area Protection (WAP) as an Enhanced Load Shedding Scheme to Mitigate Loss of Supply to Load Center*”, Conference of the Electric Power Supply Industry (CEPSI) 2010, 2010.
- [11] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No.3 Tahun 2007 “*Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali*”.
- [12] W. A. Elmore; “*Protective relaying theory and applications*”, Coral springs, FL: ABB, 1994.
- [13] S.R. Shilling; “*Electrical Transient Stability And Underfrequency Load Shedding Analysis For A Large Pump Station*”, IEEE Trans On Industry Application, Vol. 33, No.1, January/February 1997.
- [14] Hasil survey data di PT. Petrokimia Gresik 01 maret - 31 maret 2017
- [15] Anderson, P.M. and A.A. Fouad; 2002; ” *Power System Control and Stability*”. 2nd Edn., Wiley-IEEE Press, New York, ISBN-13: 978-0471238621, pp: 672.
- [16] Busman, Cooper; “*Short Circuit Current Calculation,*”: Cooper Industries:Texas: 2005.



# LAMPIRAN

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Aga Dia Priasmoro  
NIM : 1312023  
Prodi / Konsentrasi : Teknik Elektro S-1 / Teknik Energi Listrik  
ID KTP / Paspor : 3316050706950004  
Alamat : Jl. Dumai IV/ No. 125. RT.06 / RW. 15. Kelurahan Mbalun.  
Kecamatan Cepu. Kabupaten Blora, Jawa Tengah  
Judul Skripsi : Studi Static Under-frequency Load Shedding Akibat Kondisi  
Transient Pada Sistem Kelistrikan PT. PETROKIMIA  
GRESIK

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, bukan merupakan hasil plagiarisme dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi inidapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 14 Agustus 2017

Yang Membuat Pernyataan



**Aga Dia Priasmoro**  
NIM. 1312023



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : J. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 69145  
Kampus II : J. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Aga Dia Priasmoro  
NIM : 1312023  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1  
Judul Skripsi : **STUDI STATIC UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING  
AKIBAT KONDISI TRANSIENT PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi jenjang Strata Satu (S-1) Pada:

Hari : Jumat  
Tanggal : 28 Juli 2017  
Dengan Nilai : 85 (A)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT  
NIP. 197706152005012002

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT  
NIP.Y. 1028700172

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. Yusuf Ismail Nakhota, MT  
NIP.Y. 1018800189

Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT  
NIP.Y 1018800190





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Aya aia P  
NIM : 13.12.023  
Perbaikan meliputi :

1. Sempurnakan flowchart, ditambahkan proses menggambar single line diagram sistem menggunakan software ETAP.
2. Gambar yang diambil dari referensi di daftar pustaka, judul gambar diberi indeks sesuai urutan nomor daftar pustaka.

Malang,

28-7-2017



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

Dari hasil ujian skripsi Program studi Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Jumat  
Tanggal : 28 Juli 2017

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Aga Dia Priasmoro  
NIM : 1312023

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Judul Skripsi : **STUDI STATIC UNDER-FREQUENCY LOAD SHEDDING AKIBAT KONDISI TRANSIENT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK**

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Sempurnakan <i>flowchart</i> , tambahkan proses menggambar <i>single line</i> diagram menggunakan software ETAP.	
2	Gambar yang diambil dari referensi di daftar pustaka, judul gambar diberi indeks sesuai dengan nomor urutan di daftar pustaka.	

Dosen Penguji I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP. Y. 1018800189

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE  
NIP. Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT  
NIP. P. 197706152005012002





**PETROKIMIA  
GRESIK**

Kepada : Yth. Ketua Fakultas Teknologi Industri – ITN Malang  
*agapriasmoro@gmail.com*  
Dari : Dep. Pengembangan SDM PT. Petrokimia Gresik  
*prakerin@petrokimia-gresik.com*  
Nomor : 971 /NK.02.02/03/MKP/2016  
Perihal : **Konfirmasi Bimbingan Penelitian**  
Tanggal : 01 Februari 2017  
Lampiran : 3 (tiga) Lembar

Menanggapi surat Saudara nomor : ITN-17/EL-FTI/2017 tertanggal 13 Januari 2017 perihal Permohonan Mahasiswa Bimbingan Penelitian / Tugas Akhir atas nama :

NO	NAMA	NIM	JURUSAN
1	Aga Dia Priasmoro	1312023	Teknik Elektro

dengan ini disampaikan bahwa permohonan saudara bisa kami terima mulai tanggal **01/03/2017 s.d. 31/03/2017**. Selama melaksanakan kegiatan di PT Petrokimia Gresik akan dibimbing oleh sdr. **Haidar Ismail**. Bagian Listin Departemen Cangun.

Calon Mahasiswa kerja praktek harus hadir pada :

Tanggal : 28 Februari 2017  
Pukul : 07.00 Wib  
Tempat : Gedung Diklat PT. Petrokimia Gresik  
Acara : Sosialisasi  
- Kerja Praktek & Prakerin  
- Company Profile PT. Petrokimia Gresik  
- K3

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

PT. Petrokimia Gresik  
Manager Pengembangan SDM

**Chursiana Luthfa**  
Mr/Ptr





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : J. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : J. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-085/EL-FTI/2017

28 Februari 2017

Lampiran : -

Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (Baru)

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSSE  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : Aga Dia Priasmoro

Nim : 1312023

Fakultas : **Teknologi Industri**

Program Studi : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : T. Energi Listrik S1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**"Semester Genap Tahun Akademik 2016-2017"**

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP. P. 1030100358





PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-085/EL-FTI/2017  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (Baru)

28 Februari 2017

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Dr. Irrine Budi S., ST., MT**  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : Aga Dia Priasmoro  
Nim : 1312023  
Fakultas : **Teknologi Industri**  
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**  
Konsentrasi : T: Energi Listrik SI

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**" Semester Genap Tahun Akademik 2016-2017 "**

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.

Mengetahui

Kepada Program Studi Teknik Elektro S-1



**M. Ibrahim Ashari, ST., MT.**

NIP. P. 1030100358

3  
BRI PT



**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

<b>KONSENTRASI</b>		T. ENERGI LISTRIK S1		
1.	Nama Mahasiswa	Aga Dia Priasmoro	NIM	1312023
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan			
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang *)				
3.	a.	Sistem Tenaga Elektrik	e.	Embedded System
	b.	Konversi Energi	f.	Antar Muka
	c.	Sistem Kendali	g.	Elektronika Telekomunikasi
	d.	Tegangan Tinggi	h.	Elektronika Instrumentasi
		i.	Sistem Informasi	
		j.	Jaringan Komputer	
		k.	Web	
		l.	Algoritma Cerdas	
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISIS TRANSIENT STABILITY DAN PERENCANAAN LOAD SEDDING AKIBAT LEPASNYA SALAH SATU PEMBANGKIT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	..... ..... .....		
6.	Catatan :	uji flash program scty IEEE		
	Catatan :	melakukan perencanaan load shedding akibat konversi transmisi pd sistem tenaga PT Petrokimia Gresik Pusat Indusri 3 gung b		
Persetujuan Judul Skripsi				
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II	
	 Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE		 Ir. Choirul Saleh, MT	
	Mengetahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing	
	 M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P. 1030100358		Pembimbing I	Pembimbing II
			 Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSSE	 Dr. Irrine Budi S., ST., MT

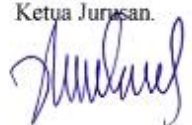
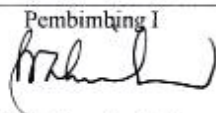

Keterangan :

\*) dilingkari a, b, c, ..... sesuai dengan bidang keahlian

Form S-3c



**BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1**

<b>KONSENTRASI</b>		T. Energi Listrik S1		
1.	Nama Mahasiswa	Aga Dia Priasmoro	NIM	1312023
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan	7 April 2017		
3.	Judul Skripsi	ANALISIS TRANSIENT STABILITY DAN PERENCANAAN LOAD SHEDDING AKIBAT LEPASNYA SALAH SATU PEMBANGKIT PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PETROKIMIA GRESIK		
4.	Perubahan Judul	Analisa Stabilitas Load Shedding akibat Kondisi Transient pada Sistem Kelistrikan Industri		
5.	Catatan :	Pada waktu pertemuan		
		Study Seatic Under-Frequency Load Shedding akibat Kondisi transient pada Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik.		
6.	Mengetahui, Ketua Jurusan  M. Ibrahim Ashari, ST, MT	Disetujui, Dosen Pembimbing		
		Pembimbing I  Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSSE	Pembimbing II  Dr. Irrine Budi S., ST., MT	



**MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI**  
**SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018**

Nama Mahasiswa : Aga Dia Priasmoro  
NIM : 1312023  
Nama Pembimbing : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT  
Judul Skripsi : Study Static Under-Frequency Load Shedding Akibat Kondisi Transient Pada Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf
1	27/02/2017	1. Uji sistem IEEE 9 bus 2. Kondisi sistem sebelum dan sesudah short circuit	
2	07/03/2017	1. Perbaikan flowchart dan judul skripsi	
3	16/03/2017	1. Perbaikan bab 1 2. Hasil uji sistem IEEE	
4	04/04/2017	1. Konsultasi untuk seminar progress 2. Kesulitan dalam pemodelan single line petro	
5	06/04/2017	1. Presentasi untuk seminar progress dengan dosen pembimbing	
6	14/04/2017	1. Konsultasi mengenai bab 2 2. Perkembangan pemodelan single line	
7	25/04/2017	1. Skenario untuk mengamankan short circuit 2. Pembahasan mengenai load shedding	
8	04/05/2017	1. Penambahan dalam hasil load flow 2. Cek penulisan / perbaikan tata tulis	

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf
9	09/05/2017	1. Chek hasil simulasi sistem Petro bali dan bandingkan dengan standart IEEE	
10	19/05/2017	1. Perbaiki tata tulis dan persiapan makalah seminar hasil	
11	22/05/2017	1. Buat grafik dan tabel perbandingan sebelum dan sesudah melakukan load shedding pada setiap main bus	
12	04/06/2017	1. Perbaiki tata tulis dan flowchart 2. Presentasi untuk persiapan seminar hasil	
13	08/06/2017	1. Konsultasi mengenai bab 2 dan 3 2. Pembahasan mengenai masalah dari seminar hasil	
14	05/07/2017	1. Konsultasi bab 4 serta flow chart load shedding 2. Tambahkan berapa besar arus gangguan	
15	10/07/2017	1. Konsultasi setelah pergantian standart frekuensi yang digunakan 2. Perbaiki tata tulis dan bimbingan bab 1 sampai bab 5	
16	25/07/2017	ACC laporan	

Malang, 07 Agustus 2017  
Dosen Pembimbing II,

**Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT**  
NIP.197706152005012002



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

### MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018

Nama Mahasiswa : Aga Dia Priasmoro  
NIM : 1312023  
Nama Pembimbing : Prof. Dr.Eng. Ir. Abraham Lomi , MSEE  
Judul Skripsi : Study Static Under-Frequency Load Shedding Akibat Kondisi Transient Pada Sistem Kelistrikan PT. Petrokimia Gresik

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf
9	09/05/2017	1. Chek hasil simulasi sistem Petro bali dan bandingkan dengan standart IEEE 2. Konsultasi hasil analisa	
10	19/05/2017	1. Perbaiki tata tulis dan persiapan makalah seminar hasil	
11	08/06/2017	1. Pembahasan mengenai masalah dari seminar hasil	
12	10/07/2017	1. Konsultasi setelah pergantian standart frekuensi yang digunakan 2. Perbaiki tata tulis dan bimbingan bab satu sampai bab lima	

Malang, 07 Agustus 2017  
Dosen Pembimbing I,

**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**  
NIP.Y.1018500108

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf
1	27/02/2017	1. Uji sistem IEEE 9 bus 2. Kondisi sistem sebelum dan sesudah short circuit	
2	07/03/2017	1. Perbaikan judul skripsi	
3	16/03/2017	1. Perbaikan bab 1 2. Uji sistem IEEE 9 bus	
4	04/04.2017	1. Konsultasi untuk seminar progress 2. Kesulitan dalam pemodelan single line petro	
5	06/04/2017	1. Presentasi untuk seminar progress dengan dosen pembimbing	
6	14/04/2017	1. Konsultasi mengenai bab 2 2. Buat grafik perbandingan sebelum dan sesudah load shedding	
7	25/04/2017	1. Pembahasan mengenai load shedding dan batas aman frekuensi	
8	04/05/2017	1. Penambahan dalam hasil load flow 2. Cek penulisan / perbaikan tata tulis 3. Gambar ulang single line petro yang lebih simpel	



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

**PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-17/EL-FTI/2017  
Lampiran : -  
Perihal : Survey Pengambilan Data Skripsi

13 Januari 2017

Kepada : Yth. Bpk. **Manager Pendidikan dan Pelatihan**  
**PT. Petrokimia Gresik**  
di – Gresik

Dengan hormat,

Bersama ini kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar mahasiswa kami dari Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi T. Energi Listrik S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang dapat diijinkan untuk melakukan survey dalam rangka pengambilan data skripsi, mulai tanggal 1 Maret 2017 sampai dengan 6 April 2017.

Mahasiswa tersebut adalah:

No	Nama	NIM
1.	Aga Dia Priasmoro	1312023
2.	Fajrian Hayyu Anugerah	1312046
3.		
4.		

Demikian atas perhatian dan kebijaksanaannya kami ucapkan terima kasih.



**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P. 1030100358



# Plagiarism Checker X Originality Report

**Similarity Found: 10%**

Date: Saturday, August 05, 2017

Statistics: 1226 words Plagiarized / 11945 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

The screenshot shows the 'Summary Report' page of the Plagiarism Checker X application. The interface includes a navigation sidebar on the left with options like 'Online Plagiarism', 'Side by Side Comparison', 'Bulk Search', and 'Options'. The main content area features a 'Summary Report' title, a 'Share your score' section with social media sharing buttons (Facebook, Twitter, Google+), and a large pie chart. The pie chart is titled 'PlagiarismCheckerX Summary Report' and shows a 'Plagiarized Percentage: 10.0%' in a dark blue slice and a 'Unique' portion in green. A legend below the chart identifies the dark blue as 'Plagiarized' and the green as 'Unique'. A 'Detailed Report' button is located at the bottom right of the main content area. The footer of the application window includes 'Connect with us' social media icons and a license notice: 'Your PRO License is Registered to .'. A 'New Version Available' notification is also present in the sidebar.



