

**ANALISIS PELEPASAN BEBAN (*LOAD SHEDDING*) MENGGUNAKAN
UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) BERDASARKAN
STANDAR *IEEE* PADA PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL
REFINERY UNIT VI BALONGAN**

(Skripsi)

Oleh

**YOGI RAHARJA
NPM 1715031012**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

ANALISIS PELEPASAN BEBAN (*LOAD SHEDDING*) MENGGUNAKAN *UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS)* BERDASARKAN STANDAR *IEEE* PADA PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL *REFINERY UNIT VI BALONGAN*

Oleh

Yogi Raharja

Pada operasi sistem tenaga listrik, pendistribusian tenaga listrik ke beban industri dikatakan baik apabila besarnya tegangan dan frekuensi yang diterima sesuai dengan yang ditentukan dan masih dalam batas toleransinya. *Load shedding* atau pelepasan beban pada penyulang dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *under frequency relay* (UFR). Penulis membuat simulasi menggunakan software ETAP 12.0 sehingga dapat diketahui respon frekuensi akhir setelah dilakukan pelepasan beban dan selanjutnya memberikan usulan tahapan pelepasan beban yang lain untuk mendapatkan respon frekuensi yang baik. Pada *output* dari simulasi ETAP 12.0 diperlihatkan skenario 1, besar daya generator yang dilepas sebesar 18.354 MVA, penurunan frekuensi sebesar 48.55 Hz, waktu pelepasan yang dibutuhkan rele sebesar 0.413 s dengan frekuensi pelepasan beban 49.21 Hz dan besar beban yang dilepaskan sebesar 17.13 MVA. Setelah dilakukan pelepasan beban frekuensi berhasil naik pada keadaan konstan sebesar 50.26 Hz. Untuk skenario 2, generator *trip* sebesar 21.95 MVA mengakibatkan penurunan frekuensi sebesar 48.09 Hz. Waktu pelepasan yang dibutuhkan rele sebesar 0.343 s dengan frekuensi pelepasan beban 49.11 Hz dan besar beban yang dilepaskan sebesar 20.92 MVA. Setelah dilakukan pelepasan beban frekuensi berhasil naik pada keadaan konstan sebesar 50.69 Hz. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi PT. Kilang Pertamina Internasional Unit VI Balongan.

Kata kunci : *Load Shedding, Under Frequency Relay, Frekuensi, ETAP*

ABSTRACT

LOAD SHEDDING ANALYSIS USING UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) BASED ON IEEE STANDARDS AT PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL *REFINERY UNIT VI* BALONGAN

By

Yogi Raharja

In the operation of the electric power system, the distribution of electric power to industrial loads is said to be good if the amount of voltage and frequency received is in accordance with the specified and still within the tolerance limits. Load shedding or load shedding on the feeder is done automatically by using an under frequency relay (UFR). In this study, a simulation was made using ETAP 12.0 software to analyze the load shedding stages used by PT. Pertamina International Unit VI Balongan Refinery so that the final frequency response can be known after the load release is carried out and then try to propose other load relief stages to get a good frequency response. The output of the ETAP 12.0 simulation shows scenario 1, the generator power released is 18.354 MVA resulting in a decrease in frequency of 48.55 Hz, after calculating the required release time for the relay of 0.413 s with a load discharge frequency of 49.21 Hz and a large released load of 17.13 MVA. . After releasing the load, the frequency managed to increase at a constant state of 50.26 Hz. For scenario 2, the generator removed by 21.95 MVA resulted in a decrease in frequency of 48.09 Hz. After calculating, the required release time for the relay is 0.343 s with a load discharge frequency of 49.11 Hz and a large discharge load of 20.92 MVA. After releasing the load, the frequency managed to increase at a constant state of 50.69 Hz

Keywords : Load Shedding, Under Frequency Relay, Frequency, ETAP

**ANALISIS PELEPASAN BEBAN (*LOAD SHEDDING*) MENGGUNAKAN
UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) BERDASARKAN
STANDAR *IEEE* PADA PT. KILANG PERTAMINA INTERNASIONAL
REFINERY UNIT VI BALONGAN**

Oleh

YOGI RAHARJA

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **ANALISIS PELEPASAN BEBAN
(LOAD SHEDDING) MENGGUNAKAN
UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING
(UFLS) BERDASARKAN STANDAR IEEE
PADA PT. KILANG PERTAMINA
INTERNASIONAL REFINERY UNIT VI
BALONGAN**

Nama Mahasiswa : **Yogi Raharja**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031012

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik





Herri Gusmedi, S.T., M.T.
NIP. 19710813 199903 1 003



Osea Zebua, S.T., M.T.
NIP. 19700609 199903 1 002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program Studi
Teknik Elektro



Herlinawati, ST., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001



Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Herri Gusmedi, S.T., M.T.



Sekretaris

: Osea Zebua, S.T., M.T



Penguji

: Khairudin. S.T., M.Sc., Ph.D.Eng



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Januari 2022

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak ada terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar lampung, 25 Januari 2022

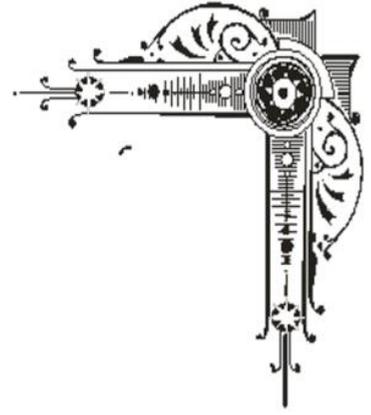
Yogi Raharja



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yogi Raharja. Dilahirkan di Indramayu pada tanggal 19 Mei 1999. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Sujana dan Ibu Wastinih. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Margadadi 5 Kab. Indramayu pada 2006 s.d. 2012. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN Unggulan Sindang Indramayu dari tahun 2012 s.d. 2014 dan SMAN 1 Indramayu pada 2014 s.d. 2017. Saat ini penulis sedang menyelesaikan studinya di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL). Selama perkuliahan penulis tergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Sains dan Teknologi Universitas Lampung sebagai Wakil Presiden, Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Lampung Kementerian Pendidikan dan Kepemudaan, dan Masyarakat Ilmuan dan Teknolog Indonesia Klaster Mahasiswa (MITI-KM) Departemen Hubungan Luar Negeri. Penulis juga mendapatkan penghargaan *Best Essay National Youth Summit* MITI-KM, *3rd Winner National Science Paper Competition* UIN Malang, *4th Innovation Essay Contest* PT. Kilang Pertamina Internasional. Sebelumnya, penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Kilang Pertamina Internasional Unit VI Balongan pada 02 Juli 2020 hingga 18 Agustus 2020 dengan laporan hasil kerja praktik berjudul “Sistem Proteksi Pada Transformator 21-PTR1-01A SS 21 Kilang Pertamina Internasional RU-VI Balongan.”



PERSEMBAHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim

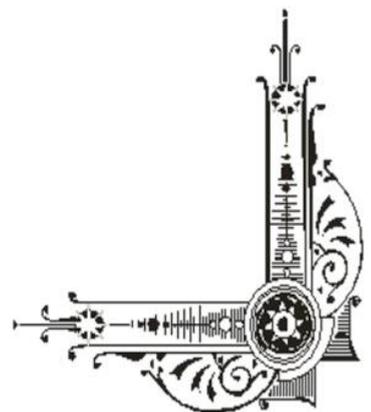
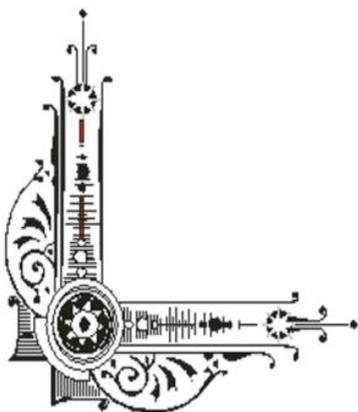
Ku ucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta shalawatku kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi pedoman hidupku

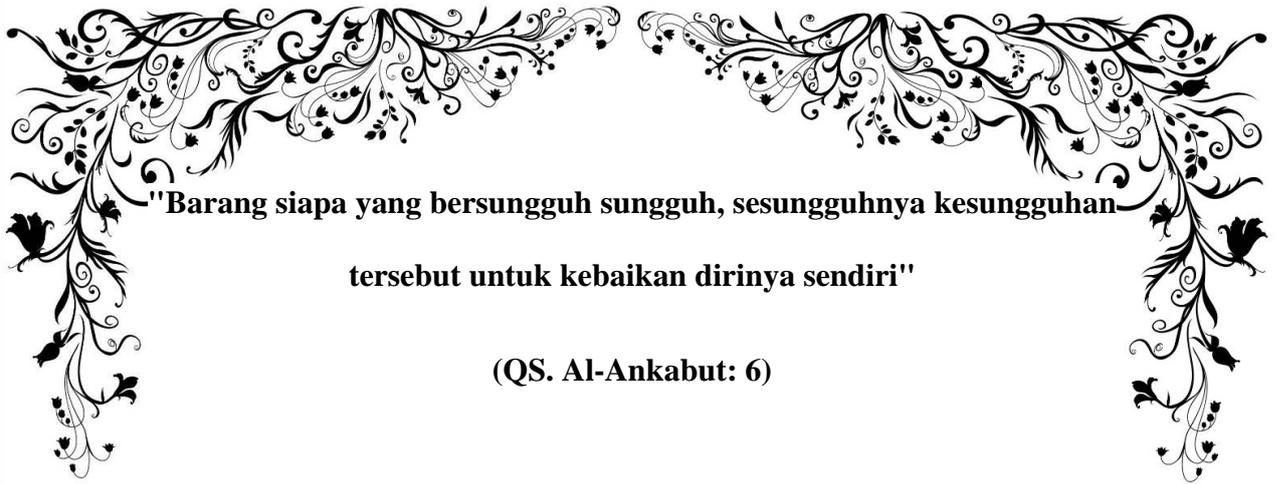
Ku persembahkan karyaku ini kepada kedua orang tuaku Bapak Sujana dan Ibu Wastinih sebagai wujud bakti, cinta, kasih sayang dan terimakasihku atas segala yang telah diberikan, untuk kakak-kakakku The Ian, Mas Amar, Aa Deni, The Tanti dan my twin Yoga Raharja serta adikku Aurelia Iriani atas dukungan, doa dan kasih sayang yang telah diberikan.

Lembaga yang telah mendidik, mendewasakan, dan mencerdaskanku dalam berpikir dan bertindak

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

**Dan untuk
INDONESIA**





**"Barang siapa yang bersungguh sungguh, sesungguhnya kesungguhan-
tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri"**

(QS. Al-Ankabut: 6)

**"Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya sesudah
kesulitan itu ada kemudahan."**

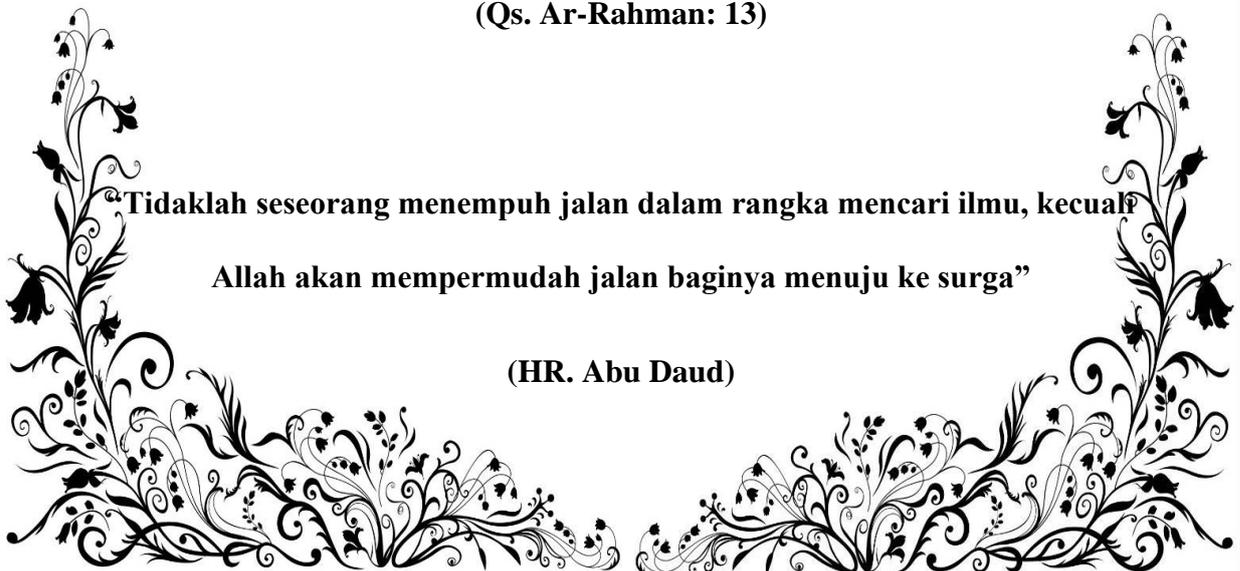
(Qs. Asy Syarh: 5-6)

**"Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan
kesanggupannya"**

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Maka nikmat Tuhan-mu yang manakan yang kamu dustakan"

(Qs. Ar-Rahman: 13)



"Tidaklah seseorang menempuh jalan dalam rangka mencari ilmu, kecuali

Allah akan mempermudah jalan baginya menuju ke surga"

(HR. Abu Daud)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas segala karunia, rahmat dan nikmat yang diberikan-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam tidak lupa juga penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan yang baik seluruh umat manusia dan senantiasa mengharapkan syafaatnya di yaumul akhir kelak.

Skripsi dengan judul “Analisis Pelepasan Beban (*Load Shedding*) Menggunakan *Under Frequency Load Shedding* (UFLS) Berdasarkan Standar IEEE pada PT. Kilang Pertamina Internasional *Refinery Unit VI Balongan*” disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis ingin sampaikan rasa terima kasih kepada kedua orang tua, yaitu Bapak Sujana dan Ibu Wastinih beserta kakak dan adik penulis yang telah memberikan doa dan dukungannya. Ibu Putu Ayu Hartiningsih (*Sr. Engineer I Instr. Equipment Rel*) selaku pembimbing penelitian lapangan di PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit VI Balongan dan Reiza Herli Wicaksono selaku sahabat sekaligus karyawan PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan. *Squad* Kosong: Achmad Fariz Setiawan, Ronaldo, dan Prayoga Ramandha A yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian. *Squad Lighthazen* yang telah kebersamai dalam suka dan duka selama menjalani kegiatan di luar perkuliahan dan Keluarga besar Teknik Elektro Angkatan 2017 yang semoga selalu kompak dan luar biasa, serta rekan – rekan UKM-U Sains dan Teknologi Universitas Lampung.

Penulis juga ingin sampaikan rasa terima kasih kepada Bapak Herri Gusmedi, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa membimbing, mendukung, memberikan nasihat dan menyempatkan waktu, dan tenaganya. Bapak Osea Zebua, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing pendamping yang memberikan bimbingan dan arahan mengenai skripsi maupun kegiatan akademik serta non akademik kepada penulis dengan baik dan ramah. Bapak Khairudin. S.T., M.Sc., Ph.D.Eng selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis selama pengerjaan skripsi ini. Bapak Dr. Eng. Charles Ronald Harahap, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan yang membangun bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis, serta segenap *Staff* di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi maupun hal-hal lainnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang Teknik Elektro.

Bandar Lampung, 25 Januari 2022

Yogi Raharja

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GRAFIK	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Rumusan Masalah.....	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State of The Art</i>	5
2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Industri Pengolahan Migas	8
2.3 Kestabilan <i>Steady State</i>	8
2.4 Klasifikasi Kestabilan Pada Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.4.1 Kestabilan Sudut Rotor.....	9
2.4.2 Kestabilan Frekuensi.....	9
2.4.3 Kestabilan Tegangan.....	10
2.5 Kejadian yang Mempengaruhi Kestabilan	10
2.5.1 <i>Motor Starting</i>	10
2.5.2 Generator Lepas	11
2.5.3 Perubahan Beban	11

2.6	Konfigurasi Sistem Kelistrikan	11
2.6.1	<i>Simple Radial System</i>	12
2.6.2	<i>Primary-Selective Radial System</i>	13
2.6.3	<i>Secondary-Selective Radial System</i>	13
2.6.4	<i>Secondary-Selective Parallel System</i>	14
2.7	Sistem 20 kV PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit VI</i> Balongan.....	15
2.8	Skema <i>Load Shedding</i> PT. Pertamina <i>Refinery Unit VI</i> Balongan.....	17
2.9	Skema <i>Load Shedding</i> Standar IEEE	18
2.10	<i>Total Blackout</i>	19
2.11	Sistem Pelepasan Beban (<i>Load Shedding</i>)	19
2.12	Pengaturan Frekuensi	22
2.13	Frekuensi Turun Akibat <i>Overload</i>	24
2.13.1	<i>Konstanta Inersia</i>	24
2.14	Relai Frekuensi	25
2.14.1	<i>Over Frequency Relay</i>	25
2.14.2	<i>Under Frequency Relay</i>	25
2.14.3	Prinsip kerja <i>Under Frequency Relay</i>	26
2.14.4	Laju Penurunan Frekuensi	27
2.14.5	Faktor yang mempengaruhi rele mulai bekerja	28
2.15	Prioritas Beban	29
2.15.1	Jenis beban yang dilepaskan	29
2.15.2	Perhitungan beban yang dilepaskan.....	30
2.16	<i>Software ETAP 12.6. Power Station</i>	31

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat penelitian.....	32
3.2	Prosedur Penelitian	33
3.2.1	Studi literatur	33
3.2.2	Observasi	33
3.2.3	Diskusi	33
3.2.4	Simulasi <i>ETAP Power Station 12.6.0</i>	33
3.3	Metode	33
3.4	Simulasi analisis menggunakan <i>software ETAP 12.6.</i>	34

3.5	Diagram Alir Penelitian.....	35
-----	------------------------------	----

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Sistem Tenaga Listrik.....	37
4.1.1	Sistem Distribusi.....	38
4.1.2	Distribusi dan Pemanfaatan Tegangan	40
4.1.2.a	Tegangan distribusi (50 Hz).....	40
4.1.2.b	Tegangan rata-rata untuk setiap peralatan :	41
4.1.3	Daya Darurat.....	41
4.1.4	Kapasitas Hubung Singkat.....	41
4.2	Kombinasi-Kombinasi Pelepasan Generator.....	42
4.3	<i>Load Shedding Study</i>	44
4.4	Pelaksanaan <i>Load Shedding System</i> PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan	44
4.4.1	Semua generator <i>trip</i>	45
4.4.1.a	Kasus 4 STG beroperasi (<i>running</i>)	45
4.4.2	<i>Steam pressure drop</i>	46
4.4.2.a	Kasus 4 STG beroperasi (<i>running</i>)	46
4.4.2.b	Kasus 3 STG beroperasi (<i>running</i>)	46
4.4.3	Frekuensi generator <i>drop</i> (berfungsi sebagai back up).....	47
4.5	Laju Penurunan Frekuensi	48
4.6	Frekuensi Pelepasan Beban	50
4.7	Prioritas Beban Berdasarkan Kepentingan Produksi.....	52
4.8	Laju Pemulihan dan Besar Beban yang Dilepas.....	53
4.9	Beban yang Dipilih untuk Dilepas.....	55
4.10	Simulasi dan Analisis	56
4.11	Simulasi aliran daya.....	57
4.12	Studi Kasus Generator <i>Outage</i> 1 dengan 4 Generator Beroperasi	58
4.12.1.	Studi Kasus Generator 51 – G – 101A <i>Outage</i> dengan 4 Generator Beroperasi	58
4.12.2	Studi Kasus Generator 51 – G – 101A <i>Outage</i> dan <i>Load Shedding</i> 1.....	58
4.13	Studi Kasus Generator <i>Outage</i> 1 dengan 3 Generator Beroperasi	62

4.13.1 Studi Kasus Generator 51 – G – 101C <i>Outage</i> dengan 3 Generator Beroperasi	62
4.13.2 Studi Kasus Generator 51 – G – 101C <i>Outage</i> dengan 3 Generator Beroperasi	62

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Konfigurasi <i>Simple Radial System</i>	12
Gambar 2.2 Konfigurasi <i>primary-selective radial system</i>	13
Gambar 2.3 Konfigurasi <i>secondary-selective radial system</i>	14
Gambar 2.4 Konfigurasi <i>secondary-selective parallel system</i>	15
Gambar 2.5 Sistem Tenaga Listrik PT. Pertamina (Persero) <i>Refinery Unit VI</i>	16
Gambar 2.6 Proses Konversi Energi	16
Gambar 2.7 Perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban	20
Gambar 2.8 Blok Diagram Konsep Dasar <i>Speed Governing</i>	23
Gambar 2.9 Diagram pengawatan UFR pada saluran	26
Gambar 2.10 Kurva karakteristik <i>Under Frequency Relay</i>	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	36
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan	38
Gambar 4.2 <i>Single Line Diagram</i> menggunakan perangkat lunak ETAP PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan	42
Gambar 4.3 Hasil simulasi aliran daya sistem tenaga listrik PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan.....	57
Gambar 4.4 <i>Setting</i> UFR saat generator 51-G-101A lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan <i>load shedding</i> tahap 1	59
Gambar 4.5 <i>Running</i> simulasi saat generator 51-G-101A lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan <i>load shedding</i> tahap 1	60
Gambar 4.6 <i>Setting</i> UFR saat generator 51-G-101C outage dengan 3 generator beroperasi dan dilanjutkan dengan <i>load shedding</i> tahap 2.....	63

Gambar 4.7 <i>Running</i> simulasi saat generator 51-G-101C outage dengan 3 generator beroperasi lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan <i>load shedding</i> tahap 2.....	64
---	----

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1_Skema <i>Load Shedding</i> PT. Pertamina RU VI.....	18
Tabel 2.2_Skema <i>Load Shedding</i> Standar IEEE.....	19
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	32
Tabel 4.1 Tegangan Distribusi (50 Hz).....	40
Tabel 4.2 Tegangan rata-rata untuk setiap peralatan	41
Tabel 4.3 <i>Capacity outage probability tables 4 STG running</i>	43
Tabel 4.4 <i>Capacity outage probability generation trip tables 4 STG running</i>	43
Tabel 4.5 <i>Capacity outage probability tables 3 STG running</i>	43
Tabel 4.6 <i>Capacity outage probability generation trip tables 3 STG running</i>	44
Tabel 4.7 <i>Load shedding kasus generator trip 4 STG beroperasi (running)</i>	45
.....	45
Tabel 4.8 <i>Load shedding kasus generator trip 3 STG beroperasi (running)</i>	45
Tabel 4.9 <i>Load shedding kasus steam pressure drop 4 STG beroperasi (running)</i>	46
.....	46
Tabel 4.10 <i>Load shedding kasus steam pressure drop 3 STG beroperasi (running)</i>	46
.....	46
Tabel 4.11 <i>Load shedding frekuensi generator drop</i>	47
Tabel 4.12 Konstanta Inersia dan Kapasitas Generator	49
Tabel 4.13 Beban yang dipilih dalam skema pelepasan beban.....	55
Tabel 4.14 Respon frekuensi untuk kasus Generator 51 – G – 101A <i>Outage</i>	58
Tabel 4.15 Respon tegangan untuk kasus Generator 51 – G – 101A <i>Outage</i>	58
Tabel 4.16 Respon frekuensi untuk kasus Generator 51 – G – 101C <i>Outage</i> dengan 3 Generator Beroperasi.....	62
Tabel 4.17 Respon tegangan untuk kasus Generator 51 – G – 101C <i>Outage</i> dengan 3 Generator Beroperasi.....	62

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1_ Respon frekuensi sistem saat generator 51-G-101A lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 1 tahap	59
Grafik 4.2_ Respon tegangan sistem saat generator 51-G-101A lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 1 tahap	61
Grafik 4.3_ Respon frekuensi sistem saat generator 51-G-101C outage dengan 3 generator beroperasi lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 2 tahap.....	63
Grafik 4.4_ Respon tegangan sistem saat generator 51-G-101C outage dengan 3 generator beroperasi lepas dari sistem dan dilanjutkan dengan load shedding 2 tahap.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik yang sudah dirancang dengan baik, pada proses pembangkitan kemungkinan terjadi gangguan tidak dapat dihindarkan, gangguan yang terjadi salah satunya *trip unit* pembangkit yang dapat mengakibatkan generator *overload*. Apabila generator mengalami *overload* maka akan mengakibatkan ketidakseimbangan antara daya mekanik yang dihasilkan oleh generator (*prime mover*) terhadap daya elektrik yang diperoleh oleh beban yang akan mengakibatkan menurunnya frekuensi putaran generator.

Untuk mempertahankan sistem dalam keseimbangan daya, PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan memberlakukan skema penanggulangan awal dengan memanfaatkan kerja *governor system*, ketika *governor system* tidak berhasil mempertahankan sistem tetap stabil dan terdeteksi terjadi penurunan frekuensi hingga pada nilai frekuensi *setting Under Frequency Relay*, maka UFR akan bekerja dan membuka *breaker* beban sesuai dengan urutan kepentingan beban yang telah diatur, dan dibantu operator yang mengoperasikan *load shedding* secara manual.

Pada studi ini peneliti melakukan simulasi generator *outage* dengan skema saat 4 STG beroperasi kemudian 1 generator *outage* dan 2 generator *outage*. Saat 3 STG beroperasi kemudian terjadi 1 generator *outage* dan 2 generator *outage* yang dapat mengganggu kestabilan sistem, saat sistem tidak mampu stabil kembali, memberlakukan rancangan *load shedding* standar IEEE. Jumlah beban yang dilepas serta lama waktu yang diperlukan dalam menstabilkan kembali

sistem menggunakan prosedur *load shedding* IEEE kemudian dianalisis respon frekuensi, sudut rotor, dan tegangan setelah dilakukan *load shedding* sehingga menghasilkan rekomendasi *load shedding* yang lebih efektif.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Mengetahui frekuensi di sistem tenaga, ketika terjadi beban puncak
- b. Menentukan frekuensi *load shedding* dan waktu tunda pada *under frequency relay* sehingga lebih optimal agar mencegah terjadinya *total blackout*.
- c. Mengetahui area *load shedding* yang dilakukan dengan tetap menjaga aliran daya ke beban penting (beban produksi).

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui secara lebih dalam mengenai sistem tenaga listrik, pelepasan beban dan keandalan sistem tenaga listrik.
- b. Hasil penelitian dapat dijadikan bahan rujukan kepada PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan sebagai upaya meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik di Indonesia.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana kondisi frekuensi di sistem tenaga listrik PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan ketika terjadi beban puncak ?
- b. Bagaimana skema *load shedding* yang dilakukan dalam mengatasi ketidak stabilan sistem ketika terjadi generator *outage*?
- c. Bagaimana memilih beban yang akan dilepas sehingga dapat memperbaiki frekuensi yang bertujuan agar aliran daya pada sistem kelistrikan PT. Kilang

Pertamina Internasional RU VI Balongan tetap berjalan secara kontinyu, dengan tidak melepaskan beban penting (beban produksi)?

1.5 Batasan Masalah

Beberapa hal yang membatasi masalah dalam pembahasan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. *Study Case* . pada penelitian ini menganalisis ketidakstabilan sistem dengan masing-masing jenis generator yang *uniform* atau sama yang disebabkan karena generator *outage* sehingga sistem tidak seimbang dengan skema simulasi saat 4 STG beroperasi kemudian 1 generator *outage* dan 2 generator *outage*.
- b. Hal yang dianalisis pada simulasi ini adalah respon frekuensi, sudut rotor, dan tegangan saat terjadi generator *outage* ketika sebelum dilakukan *load shedding* dan setelah dilakukan *load shedding* dengan menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-2003.

1.6 Hipotesis

Adanya perubahan beban secara tiba-tiba akan mengakibatkan perubahan kestabilan pada sistem. Salah satunya adalah perubahan kestabilan frekuensi sistem. Frekuensi akan naik apabila pembangkit menghasilkan daya yang lebih besar dari pada permintaan beban dan sebaliknya frekuensi akan turun bila pembangkit menghasilkan daya yang lebih kecil dibandingkan dengan permintaan beban. Apabila penurunan frekuensi tidak segera ditanggulangi maka akan menyebabkan sistem tersebut mengalami pemadaman total (*black out*).

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai materi tugas akhir ini, maka tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan, manfaat, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori – teori yang mendukung analisis sistem tenaga listrik dan simulasi mengenai sistem kelistrikan PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan.

BAB III. METODE PENELITIAN

Berisi waktu dan tempat penelitian, prosedur penelitian, garis besar metode yang diusulkan, simulasi metode yang digunakan, serta diagram alir metode yang diusulkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil penelitian, pembahasan, dan perhitungan kinerja metode yang diusulkan.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Memuat simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, dan saran – saran untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

State of The Art merupakan pernyataan yang menyatakan bahwa pemecahan masalah yang digunakan berbeda dengan penelitian yang telah atau sedang dilakukan oleh peneliti lain. Dalam hal ini dijelaskan perbandingan dengan penelitian sebelumnya dan dijadikan sebagai referensi dalam penyusunan tugas akhir.

Referensi penelitian untuk mendukung penulisan makalah tugas akhir ini antara lain:

- a. Berdasarkan penelitian Denny Yusuf Sepriawan (2014) tentang Analisis Stabilitas Transien dan Desain Pelepasan Beban Pada *Joint Operation Body Pertamina-Petrochina East Java* (JOB P-PEJ) Tuban. Dapat disimpulkan bahwa dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, kestabilan sistem sangat penting untuk mensuplai daya secara kontinyu ke beban pada tegangan dan frekuensi dengan standarisasi. Jika terjadi gangguan pada sistem, misalnya karena ada pembangkit yang lepas (*trip*), suplai daya yang dihasilkan generator tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban, beban harus dikurangi untuk mencegah ketidakstabilan sistem (*load shedding*). Situasi darurat dalam sistem dapat dideteksi dengan mengurangi frekuensi sistem secara cepat. Standar yang digunakan untuk pengendalian frekuensi diatur oleh pemerintah melalui peraturan yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (3 Maret 2007). Aturan operasi kendali frekuensi OC.3 menetapkan ini. Ini menyatakan bahwa frekuensi sistem tetap dalam kisaran +/- 0,2 Hz atau

99,6% sekitar 50 Hz, kecuali itu adalah waktu singkat ketika penyimpangan +/- 0,5 Hz atau 99% diperbolehkan dalam keadaan darurat.

- b. Menurut Ovi Eka Putri (2016) dalam penelitian tentang Evaluasi Mekanisme Pelepasan Beban Pada Sistem Tenaga Listrik PT Pertamina RU IV Cilacap. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan ini adalah apabila generator terputus dari sistem pada kondisi pembangkit listrik normal atau minimum, maka suplai listrik dan kebutuhan beban generator akan tidak seimbang, dan frekuensi akan menurun pada sistem. Faktanya, ketika setiap governor generator tidak dapat memulihkan frekuensi ke frekuensi normal, akan terjadi pemadaman total. Untuk mengatasi kondisi ini, *load shedding* dapat secara efektif melindungi sistem dari pengurangan frekuensi.

Berdasarkan penelitian tugas akhir (skripsi) terkait stabilitas sistem tenaga pada rencana penelitian Teknik Elektro, dalam hal ini objek penelitiannya adalah sistem tenaga listrik PT Pertamina RU VI Balongan, dan dalam tugas akhir (skripsi) ditemukan Sedikitnya 2 (dua) judul penelitian yaitu:

1. Penelitian tugas akhir (Skripsi) Ovi Eka Putri (2016) dengan judul Evaluasi Mekanisme Pelepasan Beban Pada Sistem Tenaga Listrik PT Pertamina RU IV Cilacap.
2. Penelitian tugas akhir (Skripsi) Denny Yusuf Sepriawan (2014) tentang Analisis Stabilitas Transien dan Desain Pelepasan Beban Pada *Joint Operation Body Pertamina-Petrochina East Java (JOB P-PEJ)* Tuban.

Penelitian tugas akhir (skripsi) memiliki perbedaan dengan tugas akhir (skripsi) tersebut di atas. Fokus penelitian makalah tugas akhir ini adalah mengevaluasi mekanisme pelepasan beban berdasarkan pengurangan frekuensi, dan membandingkannya dengan pembangkit listrik normal untuk skenario pembangkit listrik minimum, dan menganalisis penerapan *load shedding* SOP Pertamina dan standar IEEE C37-106 2003 pada sistem tenaga listrik PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan, tetapi Analisis stabilitas transien dan masalah pelepasan muatan pada sistem tenaga listrik PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan tidak dibahas, yang terdiri dari beberapa jenis generator yang tidak bergantung pada sistem tenaga.

2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Reliability, *quality* dan *stability* adalah syarat sistem tenaga listrik dapat dikatakan baik. Sistem harus mampu memberikan tenaga listrik secara kontinyu dengan frekuensi dan nilai tegangan yang sesuai regulasi dan harus dapat kembali ke kondisi normal selama gangguan [9].

Reliability adalah kemampuan sistem tenaga untuk terus menerus menghantarkan tenaga atau energi. *Quality* adalah kemampuan yang harus dimiliki sistem tenaga untuk menghasilkan besaran standar untuk tegangan dan frekuensi. *stability* sistem tenaga adalah kemampuan sistem tenaga untuk bereaksi terhadap gangguan dalam kondisi pengoperasian normal dan kembali ke keadaan normal pada keadaan semula. Stabilitas sistem tenaga listrik dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu stabilitas transien, stabilitas dinamis dan stabilitas keadaan konstan. Sistem tenaga listrik yang dapat dikatakan baik apabila ketiga syarat tersebut dapat dipenuhi. Syarat tersebut adalah sistem harus mampu memberi pasokan listrik secara kontinyu dengan standar besaran tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku dan harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan.

Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan pusat tenaga dan gardu induk atau pusat beban yang saling terhubung melalui jaringan transmisi sehingga membentuk suatu interkoneksi yang utuh. Komponen-komponen tersebut memiliki fungsi yang saling terkait yaitu dapat menghasilkan listrik dan mendistribusikannya ke konsumen dengan kualitas yang baik. Ada beberapa gangguan pada sistem yang tidak mempengaruhi sistem apabila pada sistem didukung dengan sistem proteksi yang memenuhi syarat.

Salah satu persyaratan penting dalam sistem tenaga adalah memastikan bahwa daya yang dihasilkan cukup untuk memenuhi kebutuhan beban dalam kondisi normal dan darurat [4].

Suatu sistem dapat dikatakan stabil apabila terdapat keseimbangan antara daya mekanik yang dihasilkan *prime mover* dengan daya elektrik yang dikonsumsi beban. Apabila terdapat sistem yang tidak stabil dan tidak segera dipulihkan, maka

percepatan dan perlambatan putaran motor akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem [7].

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik Industri Pengolahan Migas

Sistem kelistrikan pada dunia industri khususnya pengolahan minyak dan gas sangatlah berbeda dengan sistem kelistrikan yang digunakan pada utilitas publik. Dunia industri migas memiliki standar sistem kelistrikan yang berbeda dikarenakan membutuhkan kehandalan energi yang lebih baik. Hal ini mutlak untuk mendukung proses produksi yang berlangsung kontinyu. Salah satu institusi yang mengeluarkan standar tersebut adalah API (*American Petroleum Institute*). Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada instalasi sistem kelistrikan pada industri migas.

2.3 Kestabilan *Steady State*

Kestabilan *steady state* merupakan kemampuan suatu sistem untuk menjaga operasi sinkron antar mesin apabila terjadi gangguan kecil. *Steady state stability* adalah kemampuan sistem kelistrikan untuk membawa sistem kembali kedalam keadaan stabil setelah terjadi gangguan kecil pada jaringan seperti kenaikan atau penurunan beban secara tiba-tiba dan juga adanya perubahan pada AVR. Dan apabila aliran daya pada sistem tersebut melebihi jumlah daya yang diizinkan maka ada kemungkinan gangguan tersebut menyebabkan beberapa peralatan atau mesin akan lepas sinkron dengan sistem. Sehingga menyebabkan gangguan lebih lanjut. Sehingga *steady state stability* juga dapat didefinisikan sebagai batas kemampuan suatu sistem untuk menampung daya dalam sistem kelistrikan tanpa harus kehilangan *steady state stability* yang ia miliki.

2.4 Klasifikasi Kestabilan Pada Sistem Tenaga Listrik

Berdasarkan *IEEE Transactions On Power Systems* dengan judul "*Definition and Classification of Power System Stability*" tahun 2004, kestabilan sistem tenaga meliputi ketiga hal berikut ini :

2.4.1 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari mesin sinkron yang terhubung dengan sistem untuk tetap sinkron setelah terjadi gangguan. Sehingga tergantung dari kemampuan untuk mempertahankan torsi mekanik dan torsi elektrik tetap seimbang. Ketidakstabilan akan mengakibatkan naiknya sudut rotor yang berbeda-beda dari generator sehingga dapat mengakibatkan generator mengalami hilang sinkronisasi dengan generator lain. Faktor dasar dari permasalahan ini yaitu daya output akan berubah seiring berubahnya sudut rotor.[2]

Beberapa hal mempengaruhi kestabilan sudut rotor antara lain gangguan kecil dan gangguan transient. gangguan kecil merupakan gangguan yang disebabkan oleh perubahan beban kecil. Gangguan kecil mempunyai kurun waktu 10-20 detik setelah terjadi gangguan. Ketidakstabilan gangguan kecil dipengaruhi oleh kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi damping. Sedangkan untuk gangguan transient merupakan gangguan yang disebabkan perubahan beban atau pembangkit yang cukup besar secara tiba – tiba biasanya berupa hubung singkat dan pelepasan beban yang mendadak. Gangguan besar mempunyai kurun waktu 3-5 detik setelah terjadi gangguan namun jika sistem yang sangat besar dengan ayunan antar wilayah yang dominan maka kurun waktu diperpanjang menjadi 10-20 detik. Sehingga ketabilan sudut rotor gangguan kecil dan transient dikategorikan sebagai fenomena jangka pendek.[3]

2.4.2 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan Frekuensi merupakan kemampuan pada sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi yang stabil ketika terjadi gangguan besar akibat ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban yang signifikan [1]. Kestabilan frekuensi terbagi menjadi dua yaitu jangka pendek dan jangka panjang. Ketidakstabilan frekuensi jangka pendek contohnya adalah kurangnya daya pembangkitan atau kurangnya beban yang dilepas pada saat sistem *overload* sehingga menyebabkan terjadinya *blackout*. Sedangkan untuk kestabilan frekuensi jangka panjang contohnya adalah terjadinya percepatan yang berlebih atau *overspeed* pada turbin uap dikarenakan governor yang tidak bekerja dengan baik.

2.4.3 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan yang stabil pada semua bus dari sistem tenaga setelah mengalami gangguan. Dari jenis gangguan, kestabilan tegangan dibagi menjadi dua yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Kestabilan tegangan dengan gangguan kecil contohnya adalah karena perubahan beban. Sedangkan kestabilan tegangan dengan gangguan besar contohnya seperti terjadinya gangguan lepasnya generator atau gangguan hubung singkat.

Dari lama waktu gangguan, kestabilan tegangan dapat dibagi menjadi jangka pendek dan jangka panjang. Kestabilan tegangan jangka pendek yaitu berupa kedip tegangan atau kenaikan tegangan dalam waktu yang singkat, jangka pendek memiliki kisaran waktu antara 0.01 hingga maksimal 60 detik. Sedangkan kestabilan tegangan jangka panjang yaitu undervoltage dan overvoltage dalam rentang waktu lebih dari 1 menit. Perubahan tegangan untuk operasi normal adalah sebesar 95-105%. Sehingga apabila lebih atau kurang dari rentang tersebut dapat dikatakan terjadi overvoltage atau undervoltage.

2.5 Kejadian yang Mempengaruhi Kestabilan

Jenis-jenis gangguan yang mempengaruhi kestabilan dalam sistem tenaga listrik adalah :

2.5.1 *Motor Starting*

Pada saat starting motor, arus yang mengalir pada sistem tersedot oleh motor sehingga jumlah arus yang mengalir pada bus dimana motor dipasang sangat besar karena kebutuhan motor. Hal ini menyebabkan turunnya frekuensi dan tegangan saat peristiwa ini terjadi. Namun apabila kapasitas pembangkitan sistem yang tersedia jauh lebih besar dari beban yang ditampung maka tidak akan terjadi penurunan tegangan dan frekuensi. Hal ini berlaku juga pada motor starting yang berkapasitas rendah.

2.5.2 Generator Lepas

Pada kejadian lepasnya generator juga mempengaruhi kestabilan sistem karena saat pembangkit tersebut memiliki daya pembangkitan yang tidak jauh beda dengan beban yang harus dipikul oleh sistem kejadian lepasnya generator pada sistem akan menyebabkan terjadinya overload. Saat nilai beban lebih besar dari pada nilai pembangkitan maka akan menyebabkan ketidak stabilan pada sudut rotor.

2.5.3 Perubahan Beban

Perubahan beban juga memiliki dampak yang signifikan terhadap kestabilan sistem tenaga, karena saat terjadi perubahan beban yang besar secara seketika maka frekuensi pada sistem akan berubah. Apabila terjadi penambahan beban secara seketika dan ternyata melebihi daya pembangkitan maka akan terjadi penurunan frekuensi atau bahkan terjadi blackout. Sedangkan apabila terjadi pengurangan beban dilakukan secara tiba-tiba maka akan terjadi overspeed pada generator atau meningkatnya frekuensi pada generator. Semua perubahan pada frekuensi ini berbanding lurus dengan perubahan tegangan pada sistem.

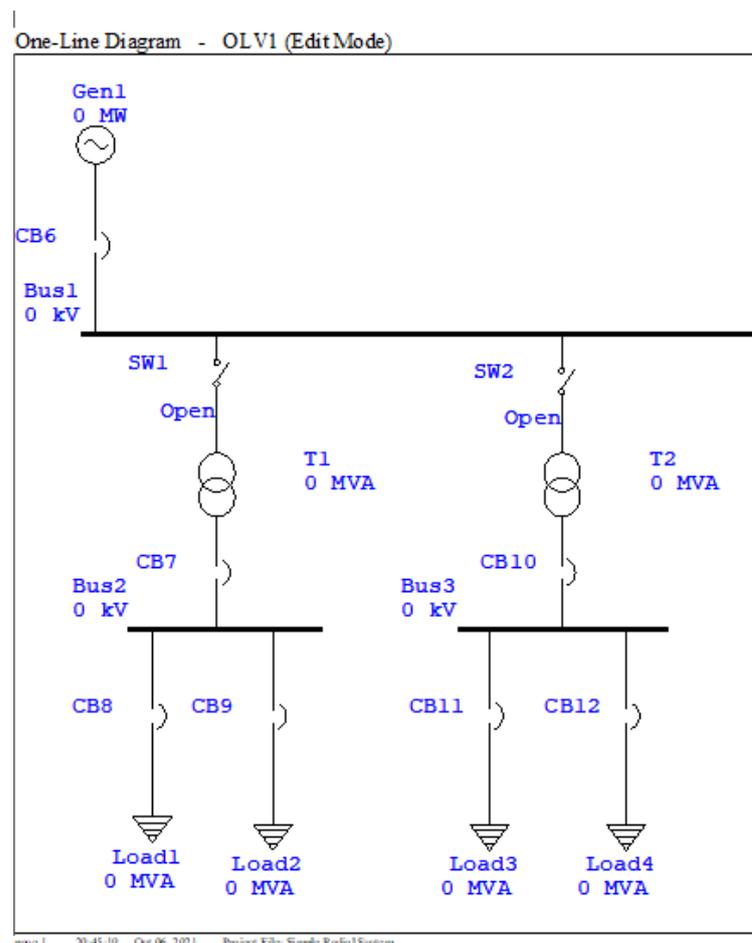
2.6 Konfigurasi Sistem Kelistrikan

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan konfigurasi sistem kelistrikan dalam industri pengolahan minyak meliputi kontinuitas sistem, fleksibilitas, aturan yang berlaku, efisiensi, biaya operasi, biaya investasi, dan tingkat keandalan sumber tenaga. Aspek pemeliharaan dari peralatan-peralatan yang ada juga harus diperhitungkan secara matang, karena proses pemeliharaan ini dapat mempengaruhi faktor-faktor tersebut. Sistem yang terdiri dari banyak beban, *loop*, dan bus interkoneksi dapat menjadi sebuah sistem yang sangat kompleks. Jumlah *relay*, *switch*, dan *interlock* yang diperlukan oleh sistem ini memerlukan perhitungan teknik yang rumit dan matang. Hal ini bertujuan untuk menghindari pemadaman/*blackout* yang dihasilkan oleh kegagalan operasi peralatan atau pengoperasian yang tidak layak.

Dalam pengoperasiannya, ada 4 (empat) tipe konfigurasi sistem kelistrikan yang dikenal. Yakni konfigurasi simple radial, konfigurasi primary-selective radial, secondary-selective radial, dan secondary-selective parallel.

2.6.1 Simple Radial System

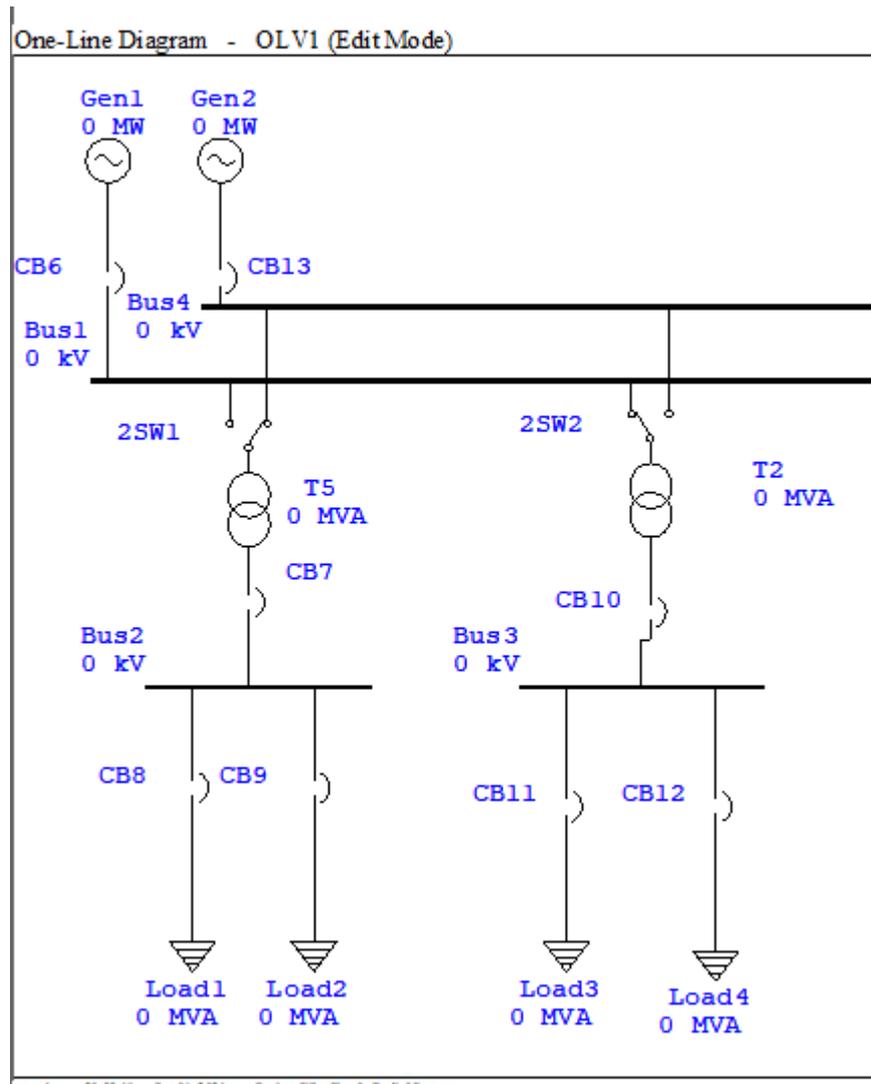
Sistem yang paling mudah untuk dimengerti, dioperasikan, dan proses pemeliharannya adalah simple radial system, seperti yang ditunjukkan gambar dibawah ini. Sistem ini juga merupakan sistem dengan biaya instalasi yang paling murah, dan paling mudah untuk diperluas. Kerugian dari sistem ini adalah sistem ini tidak menawarkan sumber daya cadangan. Jika terjadi kegagalan di CB utama, konduktor, saklar, dan transformator, akan berakibat matinya seluruh sistem (*shutdown*). Konfigurasi sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konfigurasi *Simple Radial System*

2.6.2 Primary-Selective Radial System

Konfigurasi tipe primary-selective radial system yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 memberikan kontinuitas operasi yang lebih baik, dan fleksibilitas yang lebih tinggi dibanding dengan simple radial system. Dalam konfigurasi ini, jika terjadi kegagalan di sebuah penyulang, maka beban yang terhubung di penyulang tersebut akan dihubungkan dengan penyulang lainnya.

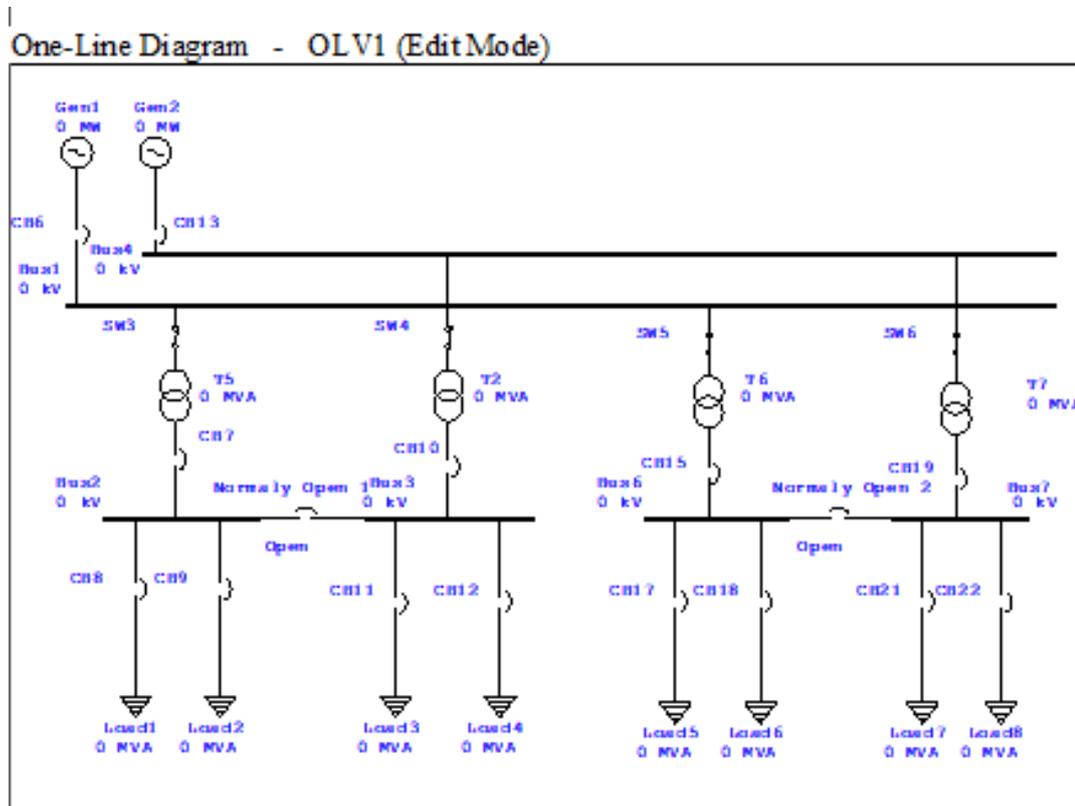


Gambar 2.2 Konfigurasi *primary-selective radial system*

2.6.3 Secondary-Selective Radial System

Konfigurasi secondary-selective radial system menyediakan kontinuitas operasi pengaturan tegangan. Jika sebuah penyulang mengalami kegagalan akan

menyebabkan sebagian beban kehilangan tegangan. Namun, tegangan dapat dipulihkan kembali dengan cepat melalui proses manual atau otomatis dari tiebreakers sekunder yang terhubung antar satu bus dengan yang lain. Adapun konfigurasi secondary-selective radial system dapat dilihat pada Gambar 2.3.

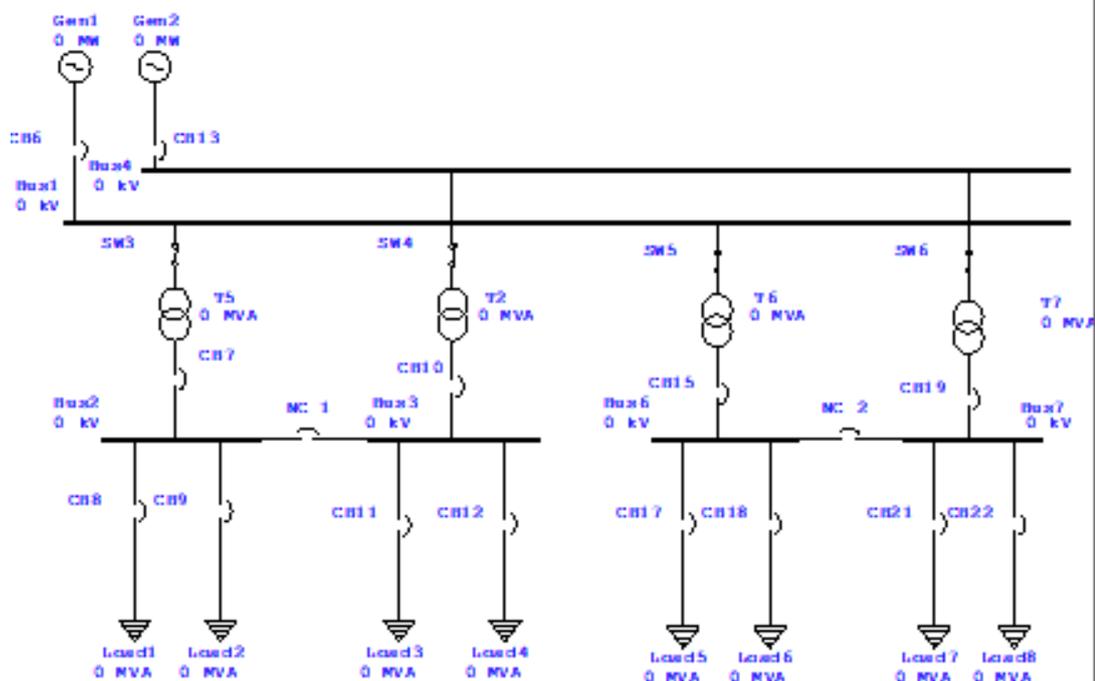


Gambar 2.3 Konfigurasi *secondary-selective radial system*

2.6.4 Secondary-Selective Parallel System

Pada konfigurasi ini, kontinuitas operasi dari sistem kelistrikan terjamin setiap saat, dan pengaturan tegangan dapat dilakukan di setiap beban. Hal ini terjadi karena pemutus sambungan bus dalam keadaan normally close (NC), sehingga jika terjadi gangguan dalam salah satu penyuplai daya, maka sumber daya yang lain akan menyalurkan daya kepada beban yang membutuhkan. Se jauh ini, konfigurasi ini merupakan konfigurasi yang paling kompleks dan yang paling mahal. Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa konfigurasi ini menawarkan sistem kelistrikan yang paling handal yang tidak mengganggu keseluruhan unit pengolahan minyak dalam hal terjadi gangguan. Konfigurasi jenis ini ditunjukkan oleh Gambar 2.4.

One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)

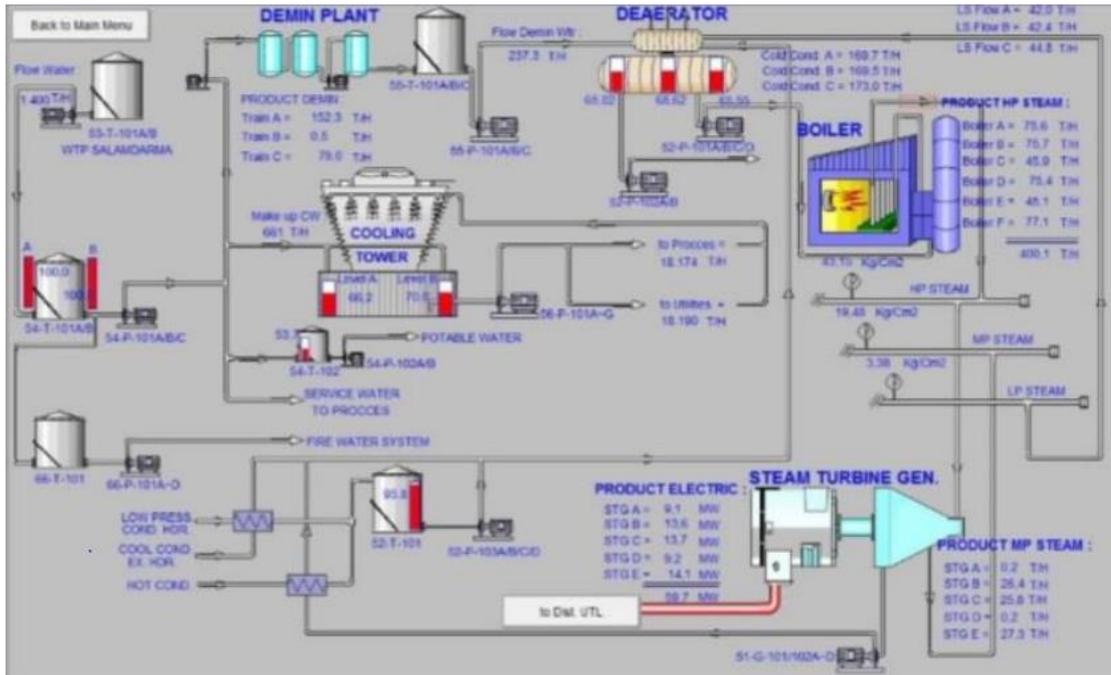


Gambar 2.4 Konfigurasi *secondary-selective parallel system*

2.7 Sistem 20 kV PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan

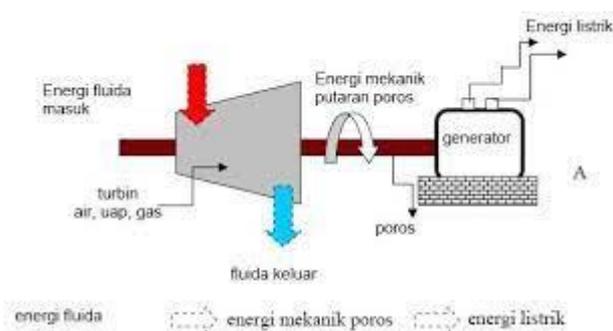
PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan memiliki sistem distribusi 20 kV yang meliputi pembangkit listrik, saluran distribusi, dan beban. Sistem tenaga listrik tersebut tidak diperoleh dari PLN, akan tetapi memiliki pembangkitan listrik sendiri. Kapasitas pembangkit listrik tersebut 5x27,5 MVA, dan tegangan operasi 20 kV.

PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan membangkitkan energi listrik sendiri memiliki alasan diantaranya karena faktor keandalan sistem. Pembangkit listrik yang digunakan adalah *Steam Turbin Generator* (STG) dari kelima pembangkit semuanya beroperasi untuk mensuplai kelistrikan kilang, perkantoran serta peralatan pendukung lainnya.



Gambar 2.5 Sistem Tenaga Listrik PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan [11]

Sistem pembangkitan PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan menggunakan *fuel oil* dan *fuel gas* sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler, untuk menjaga kestabilan sistem pada pembangkitan ini menggunakan sistem rankine yaitu siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja sehingga mengakibatkan terjadinya proses penguapan secara berulang-ulang.



Gambar 2.6 Proses Konversi Energi [11]

Penyaluran sistem tenaga listrik menggunakan jaringan kabel bawah tanah/*underground cable* dikarenakan demi faktor keamanan dan keindahan pada lingkungan. Sistem distribusi energi listrik mengedepankan keandalan dan

kontinuitas sehingga dalam penyaluran menggunakan *double feeder secondary selective*.

Setiap bus distribusi memiliki dua buah *incoming* yang dilengkapi dengan *bus tie*, dalam keadaan beroperasi normal *bus tie* akan berada dalam keadaan buka/*open* sehingga beban akan terbagi ke masing-masing *incoming* dan ketika terjadi gangguan pada salah satu *incoming*, maka *bus tie* akan menutup/*close* dan beban akan disuplai dari satu *incoming* yang tidak terjadi gangguan

Beban distribusi terbagi menjadi beban 3,15 kV sebagai penyuplai beban-beban induktif seperti motor dan kompresor yang berkapasitas besar, beban 420 V untuk mensuplai UPS dan motor-motor berkapasitas kecil serta beban 243 V yang digunakan sebagai pensuplai perkantoran dan pendukung lainnya. Nama/ kode sistem distribusi pada setiap unit kilang menggunakan nama *substation* (SS) adapun untuk setiap *substation* antara lain adalah:

Substation (SS) No.1 Melayani unit *UTILITIES* dan kantor-kantor, *Substation* (SS) No.11 melayani unit H₂ *PLANT*, *Substation* (SS) No.12 melayani unit GO-LCO, *Substation* (SS) No 13, Melayani unit ARHDM (*Atmospheric Residue Hydrodemetalization*), *Substation* (SS) No 14 A melayani unit LEU, *Substation* (SS) No 14 B Melayani unit RCC (*Residue Catalytic Cracking*), *Substation* (SS) No 15 melayani unit CDU (*Crude Distillation Unit*), *Substation* (SS) No 16 Melayani unit *AMINE TREAT*, *Substation* (SS) No 17 Melayani unit NPU *Substation* (SS) No 18 Melayani unit OCU (*Olefin Conversation Unit*), *Substation* (SS) No 19 Melayani unit *NEW UTILITIES* dan *Substation* (SS) No 21, 22, 23 Melayani unit ITP.

2.8 Skema Load Shedding PT. Pertamina Refinery Unit VI Balongan

PT. Pertamina Refinery Unit VI memanfaatkan kerja *load shedding* untuk menyeimbangkan daya ketika terjadi gangguan yang dapat sistem tidak stabil, dimana *load shedding* ini merupakan perpanjangan dari *Under frequency Relay* (UFR). Rele frekuensi ini digunakan sebagai rele proteksi generator yang

digunakan untuk mendeteksi apabila adanya perubahan frekuensi sistem sampai kepada batas-batas tertentu.

Relay ini akan memberi sinyal menuju *breaker* untuk melepas beban yang dipilih apabila nilai frekuensi bergeser sampai dengan nilai trip yang telah ditentukan. Urutan trip frekuensi disesuaikan dengan beban prioritas produksi kilang yang sudah diatur perusahaan. Prioritas utama yaitu beban-beban yang apabila dilepas tidak mengganggu jalannya produksi kilang dan tidak menimbulkan kerugian bagi perusahaan, sedangkan beban-beban yang perlu mendapat pasokan listrik secara kontinyu seperti area produksi kilang tidak diprioritaskan untuk dilepas.

Pelepasan beban di PT. Pertamina RU IV memiliki skema pelepasan beban dengan 3 tahap, tahap pertama pelepasan beban dilakukan pada frekuensi 49 Hz, tahap kedua pelepasan beban dilakukan pada frekuensi 48,5 Hz dan tahap ketiga pada frekuensi 47,5 Hz [4]. Relay frekuensi sengaja disetting untuk melepas beban sebelum terjadi jatuh frekuensi yang signifikan untuk menjaga motor-motor produksi kilang dari kerusakan. Jumlah total beban yang dilepas pada setiap tahapan sesuai dengan masing-masing nilai frekuensi trip dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Skema Load Shedding PT. Pertamina RU VI

Tahap	Frekuensi (Hz)	Total Beban Dilepas (MW)
1	49	6,68
2	48,5	23,81
3	47,5	6,72

Sumber : PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan

2.9 Skema Load Shedding Standar IEEE

IEEE Std C37 106-2003 merupakan standar yang digunakan untuk proteksi frekuensi abnormal dari pembangkit [5]. Standar ini digunakan untuk sistem dengan frekuensi 60 Hz [6]. Pada penelitian ini standar tersebut digunakan sebagai referensi

untuk standar frekuensi sistem 50 Hz. Adapun skema pelepasan beban dilakukan dengan skema 3 langkah seperti yang tertera pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Skema *Load Shedding* Standar IEEE

<i>Step</i>	<i>Frequency Trip Point (Hz)</i>	<i>Percent of Load Shedding (%)</i>	<i>Fixed Time Delay (cycles) on Relay</i>
1	59,3	10	6
2	58,3	15	6
3	58,5	<i>As required to arrest decline before 58.2 Hz</i>	

2.10 *Total Blackout*

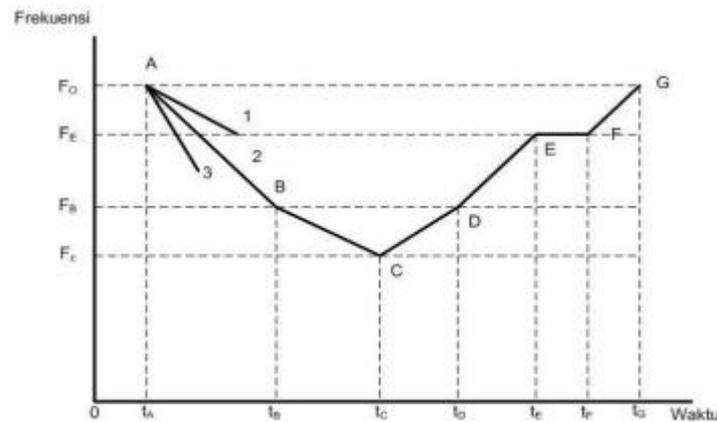
Pemadaman sistem tenaga (*Blackout*) selalu menjadi masalah historis dalam sistem tenaga yang saling berhubungan. Namun dalam beberapa tahun terakhir dengan meningkatkan teknik pemantauan dan perlindungan, pemadaman listrik tidak dapat dicegah sepenuhnya [4].

Pemadaman unit pembangkit merupakan salah satu gangguan kritis yang mungkin terjadi pada sistem tenaga yang saling berhubungan. Dalam kondisi ini frekuensi dan tegangan sistem tenaga menurun dengan cepat dan unit pembangkit lainnya akan mengalami kelebihan beban.

2.11 *Sistem Pelepasan Beban (Load Shedding)*

Dalam mempertahankan kestabilan sistem kelistrikan apabila terjadi gangguan diperlukan adanya pelepasan beban. Pada saat suatu sistem mengalami gangguan maka daya elektrik dan daya mekanis menjadi tidak seimbang [11], misalnya saat terjadi Generator Outage maka jumlah daya yang disuplai oleh sistem menjadi berkurang dan beban yang dipikul oleh sistem tersebut tetap sama sehingga

dibutuhkan suatu pengurangan beban pada sistem sehingga tidak terjadi blackout pada sistem kelistrikan.



Gambar 2.7 Perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban[5]

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa pelepasan beban merupakan salah satu hal yang harus dilakukan apabila terjadi gangguan seperti generator outage yang mampu mengakibatkan kurangnya daya pembangkitan pada sistem sehingga terjadi overload dan mampu memicu terjadinya blackout. Untuk menjaga sistem agar tetap stabil setelah gangguan diperlukan loadshedding dengan standar tertentu agar dicapai kestabilan. Dengan melakukan pelepasan beban kita mampu memperbaiki tegangan dan frekuensi pada sistem yang menurun akibat gangguan. Gambar 2.7 diatas menjelaskan grafik pelepasan beban terhadap fungsi waktu. Pada saat $t = t_a$ menunjukkan titik awal sistem mulai terjadi penurunan frekuensi akibat hilangnya pembangkitan atau kekurangan daya sehingga terjadi penurunan frekuensi ke titik 1 atau 2 atau 3, ketiga titik ini menunjukkan jumlah daya yang hilang apabila semakin banyak daya yang hilang maka kecuraman penurunan frekuensi akan semakin tinggi sehingga titik nomor 3 merupakan titik yang memiliki penurunan daya terbesar. Pada $t = t_b$ atau pada titik B frekuensi telah menurun menjadi $f = F_b$ dilakukan pelepasan beban tahap 1 yang ditunjukkan pada pada titik $t = t_c$ sehingga mampu memperlambat penurunan frekuensi pada titik $f = F_c$ namun hal ini belum menghentikan penurunan frekuensi sehingga diperlukan pelepasan beban tahap 2. Hasil pelepasan beban tahap kedua ditunjukkan pada titik $t = t_d$ dimana terjadi kenaikan frekuensi ke titik $F_d = F_b$ karena kenaikan frekuensi terlalu lambat

terhadap fungsi waktu sehingga dilakukan pelepasan beban tahap ketiga sehingga frekuensi mencapai titik F_e . Dengan adanya pelepasan beban tahap 3 membuat kenaikan frekuensi untuk mencapai frekuensi normal semakin cepat, namun kecepatannya kenaikan masih belum mencukupi untuk mencapai frekuensi normal sehingga dilakukan pelepasan beban tahap 4 yang dilakukan pada $t = t_e$ pada titik ini frekuensi sudah menjadi stabil namun karena frekuensi belum memenuhi standar operasi maka dilakukan pelepasan beban tahap 5 pada $t = t_f$ dengan adanya pelepasan beban tahap 5 membuat frekuensi sistem kembali ke frekuensi normal $f = F_o$.

Load Shedding adalah sejenis pelepasan beban yang dapat dihasilkan secara otomatis atau manual untuk menyeimbangkan suplai daya generator dengan daya yang dibutuhkan oleh beban, dengan demikian melindungi pengoperasian unit generator dan menghindari atau mencegah pemadaman total (*Black Out*).

Pelepasan beban dapat diartikan sebagai proses pemadaman sementara suplai daya listrik untuk memenuhi keseimbangan antara permintaan suplai daya dinamis dan pencegahan kerusakan sistem distribusi daya [3].

Proses load shedding menargetkan untuk menghilangkan beban dari sistem tenaga karena situasi ketidakseimbangan antara kebutuhan daya dan ketersediaan daya [3].

Jika daya pembangkit listrik turun sekitar 10% s.d Frekuensi 15% akan berkurang karena *governor* generator masih memiliki waktu untuk bekerja dan dapat mengubah 10% hingga 15% dari daya penyimpan panas yang ada (*Spinning Reserve*) menjadi energi listrik untuk digunakan.

Dalam rencana pelepasan beban, pelepasan beban dapat diklasifikasikan sebagai beban-beban yang harus dilepaskan dan tidak boleh dilepas yang terbagi menjadi 2 kriteria, yaitu:

1. Beban Penting

Beban yang diperuntukan untuk suatu proses produksi apabila terjadi gangguan maka akan merusak atau menurunkan kualitas dan hasil produksi tersebut.

2. Beban yang kurang penting.

Beban yang tidak berpengaruh secara langsung dengan proses pengolahan produksi.

Load Shedding dapat dilakukan secara manual (*Manual Load Shedding*) dan pelepasan beban dengan cara otomatis (*Automatic Load Shedding*).

1. *Manual Load Shedding*

Pelepasan beban secara manual hanya digunakan dalam situasi tidak kritis atau saat "*Control Load Shedding*" tidak berfungsi dengan baik (tidak digunakan dalam kondisi normal).

2. *Automatic Load Shedding*

Sistem *Automatic Load Shedding* merupakan perpanjangan dari relai pengaman generator misalnya, *under frequency relay* (UFR). Pelepasan beban harus ditentukan terlebih dahulu jenis beban yang akan dilepas dan dilakukan pelepasan secara bertahap pada setiap frekuensi yang telah ditentukan. Masalah utama pelepasan beban dalam sistem tenaga listrik adalah:

- a. Menentukan tahapan pelepasan beban
- b. Besar beban pelepasan yang akan dilepaskan per tingkat.
- c. Keterlambatan waktu yang direncanakan pada setiap waktu pelepasan.
- d. Frekuensi setiap tahapan pelepasan.

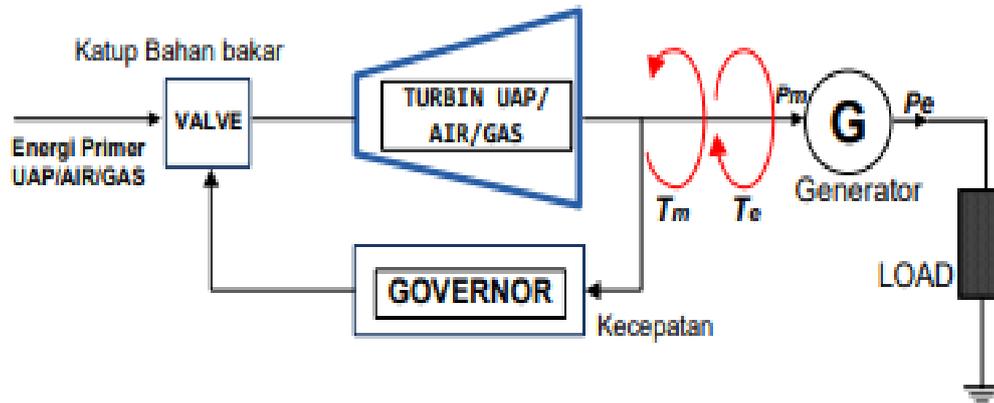
3. *Islanding Operation*

Islanding Operation merupakan pola keselamatan sistem apabila terjadi gangguan pada sistem dengan memisahkan unit pembangkit secara otomatis dengan memikul beban disekitarnya secara terbatas sesuai kemampuan unit pembangkit.

2.12 Pengaturan Frekuensi

Pada Generator terdapat suatu perangkat yang berguna sebagai pengatur nilai frekuensi, governor mengatur kecepatan putar turbin pada generator dengan cara membuka menutup katup bahan bakar pada input generator sehingga saat terjadi

percepatan dan perlambatan pada generator. Seperti yang kita ketahui bahwa percepatan dan perlambatan pada generator sangat berkaitan erat dengan nilai torsi mekanik dan torsi elektrik pada generator itu sendiri. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.8. Blok Diagram Konsep Dasar *Speed Governing*

Keterangan Gambar 2.4 adalah sebagai berikut ini :

$$T_a = T_m - T_e$$

Dimana :

$$T_m = \text{Torsi Mekanik (Nm)}$$

$$T_e = \text{Torsi Elektrik (Nm)}$$

$$P_e = \text{Daya Elektrik (W)}$$

$$P_m = \text{Daya Mekanik (W)}$$

Ketika terjadi perubahan pada beban, maka akan mengakibatkan terjadinya perubahan torsi elektrik pada generator. Hal ini membuat perbedaan antara torsi mekanik dan torsi elektrik yang menyebabkan perubahan pada kecepatan sudut rotor [10]. Frekuensi pada sistem tenaga listrik mempunyai hubungan erat dengan daya aktif. Suplai daya aktif pada sistem harus sesuai dengan kebutuhan daya aktif agar frekuensi sistem tetap dalam batas yang diizinkan. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur kopel mekanis untuk memutar generator, dengan kata lain pengaturan pemberian bahan bakar turbin. Pengaturan pemberian bahan bakar ini dilakukan oleh governor. Governor akan menambah kapasitas bahan bakar ketika frekuensi turun dari nominalnya dan mengurangi kapasitas ketika frekuensi naik dari nominalnya [3].

2.13 Frekuensi Turun Akibat *Overload*

Perhitungan penurunan frekuensi akibat *tripping* salah satu unit pembangkit bertujuan untuk merencanakan penggunaan *Under Frequency Relay* (UFR) untuk pelepasan beban guna mencegah ketidakstabilan sistem akibat pemadaman total yang disebabkan oleh unit pembangkit yang terlalu banyak padam.

Apabila salah satu pembangkit yang berkapasitas besar lepas dari sistem tenaga listrik maka akan terjadi penurunan frekuensi pada sistem. Selain hal tersebut, penyebab lain turunnya frekuensi pada sistem adalah adanya gangguan hubung singkat. Terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem menyebabkan penurunan frekuensi yang sangat cepat, kemudian frekuensi dapat dipilih dengan sendirinya menggunakan *governor*. Namun apabila penurunan frekuensi yang disebabkan karena terjadinya *overload* yang sangat besar maka diperlukan load shedding untuk memulihkan frekuensi. Ketika terjadi pelepasan unit pembangkit maka akan terjadi penurunan frekuensi, faktor yang mempengaruhi laju penurunan frekuensi ini antara lain :

- a. Konstanta inersia
- b. Daya generator
- c. Daya elektrik yang dibutuhkan beban
- d. Respon Generator

2.13.1 *Konstanta Inersia*

Kemampuan suatu benda untuk mempertahankan diri dari gangguani yang diberikan kepadanya bergantung pada momen inersia. Generator merupakan benda berotasi sehingga memiliki nilai momen inersia.

Salah satu faktor yang mempengaruhi besar laju penurunan frekuensi suatu generator adalah konstanta inersia. Semakin besar nilai konstanta inersia maka kemampuan suatu generator dalam mempertahankan diri dalam menghadapi gangguan akan semakin tinggi. Nilai konstanta inersia keseluruhan generator, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$H_{sistem} = \frac{H_1 MVA_1 + H_2 MVA_2 + \dots + H_n MVA_n}{MVA_1 + MVA_2 + \dots + MVA_n} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan keterangan persamaan :

H_{sistem} = Konstanta inersia sistem (MJ/MVA)

H_n = Konstanta inersia generator (MJ/MVA)

MVA_n = Rating generator (MVA)

2.14 Relai Frekuensi

Fungsi dari relai frekuensi ini sendiri adalah untuk membaca nilai frekuensi dan memberikan sinyal ketika menanggapi terjadinya perubahan frekuensi yang tidak sesuai dengan nilai yang sudah diatur. Relai frekuensi itu sendiri terdiri dari dua jenis yaitu.

2.14.1 *Over Frequency Relay*

Rele frekuensi lebih, digunakan pada pembangkit untuk pengaman generator saat terjadinya kecepatan lebih (*over speed*) atau frekuensi tinggi. Rele ini berfungsi saat frekuensi sistem lebih besar atau sama dengan frekuensi *setting*.

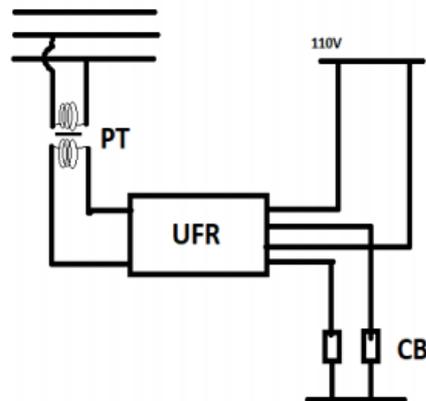
2.14.2 *Under Frequency Relay*

Rele frekuensi kurang, bekerja dengan membandingkan antara frekuensi pada sistem dengan frekuensi *setting*. Apabila frekuensi pada sistem bernilai lebih kecil atau sama dengan frekuensi *setting*, maka UFR akan bekerja. Selain digunakan dalam pembacaan frekuensi, *under frequency relay* juga digunakan dalam sistem pelepasan beban sebagai tindak lanjut dari penurunan frekuensi sistem [5].

Gangguan frekuensi dapat dideteksi secara otomatis dengan UFR (*Under Frequency Relay*). Prinsip kerja UFR adalah dengan membandingkan nilai frekuensi sistem dan nilai *setting* frekuensi yang menjadi penentu besar beban yang dilepas.

Prinsip kerja UFR adalah dengan membandingkan nilai frekuensi sistem dan nilai *setting* frekuensi yang menjadi penentu besar beban yang dilepas. UFR (*Under*

Frequency Relay) yang berfungsi mengamankan jika frekuensi sistem menurun hingga berada diluar batas yang diijinkan atau nilai setting pada relay UFR.



Gambar 2.9. Diagram pengawatan UFR pada saluran [5].

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

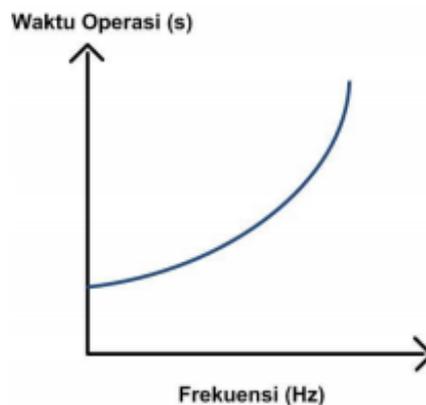
2.14.3 Prinsip kerja *Under Frequency Relay*

prinsip kerja relai frekuensi kurang dijelaskan sebagai berikut:

1. Relai frekuensi kurang (*under frequency relay*) mendapatkan sumber tegangan untuk bekerja melalui sumber tegangan DC sebesar 110Vdc.
2. Apabila terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan frekuensi sistem menurun atau kurang dari 50 Hz, maka relai frekuensi kurang akan membaca penurunan frekuensi tersebut melalui gelombang sinusoidal tegangan yang disuplai dari PT. Gelombang tegangan yang dimaksud adalah banyaknya tegangan 110 Volt yang terjadi selama satu periode gelombang tegangan dalam satu detik.

3. Apabila periode gelombang tegangan tersebut kurang dari 0,02 detik ($T=1/50\text{Hz}$), maka relai frekuensi kurang akan mendeteksi penurunan frekuensi tersebut.
4. Apabila penurunan frekuensi tersebut sudah mencapai setting relai frekuensi kurang, maka relai akan bekerja dengan mengaktifkan kontaktor sehingga dapat menyalurkan daya sebesar 110 Vdc dari sumber DC menuju circuit breaker yang akan bekerja membuka dan memisahkan penyulang dari sistem.

Untuk kurva karakteristik relai frekuensi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10. Kurva karakteristik *Under Frequency Relay*

kurva karakteristik di atas dapat dilihat bahwa apabila penurunan frekuensi semakin besar terjadi, maka waktu relai beroperasi juga semakin cepat.

2.14.4 Laju Penurunan Frekuensi

Laju penurunan frekuensi bergantung pada besarnya kelebihan beban yang terjadi, frekuensi nominal, rating MVA generator dalam keadaan ideal dan besarnya konstanta inersia [9].

$$\frac{df}{dt} = \left(\frac{PA}{2GH} \right) f_0 \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan keterangan persamaan :

$$\frac{df}{dt} = \text{Laju Penurunan Frekuensi (Hz/s)}$$

P_A = Selisih permintaan beban dan daya yang disupply generator (MW)

G = Rating MVA generator (MVA)

H = Konstanta Inersia (MJ/MVA)

f_0 = Frekuensi nominal (Hz)

2.14.5 Faktor yang mempengaruhi rele mulai bekerja

a. Waktu *pick-up*

Merupakan waktu yang diperlukan suatu relay untuk dapat bekerja setelah terjadi penurunan frekuensi pada sistem.

b. Waktu rele

Merupakan waktu yang diperlukan suatu relay untuk mengirimkan sinyal menuju *breaker* dan dihitung dari mulai terdeteksinya sinyal perubahan frekuensi trip hingga sinyal tersebut dapat mengintruksikan *breaker* untuk bekerja.

c. Waktu pemutus tenaga

Merupakan waktu yang diperlukan *breaker* untuk menerima sinyal dari relay sampai *breaker* bekerja dan beban yang dihubungkan ke sistem oleh pemutus tenaga terlepas. Perhitungan waktu ini dapat digunakan dalam menentukan perkiraan frekuensi akhir dimana saat pelepasan beban dilakukan setelah frekuensi tertinggi untuk trip terdeteksi.

$$t_{pick-up} = \frac{f_0 - f_1}{\frac{df}{dt}} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan keterangan persamaan :

f_0 = Frekuensi nominal (Hz)

f_1 = Frekuensi acuan pelepasan beban (Hz)

$\frac{df}{dt}$ = Laju penurunan frekuensi (Hz/s)

$$t_{trip} = t_{pick-up} + t_{cb} + t_{relay} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan keterangan persamaan :

t_{trip} = waktu yang digunakan sistem sesaat sebelum frekuensi turun hingga pemutus tenaga benar-benar bekerja (s).

$t_{pick-up}$ = waktu yang digunakan sistem sesaat sebelum frekuensi turun hingga rele pertama kali bekerja (s).

t_{cb} = Waktu CB untuk membuka (s)

t_{relay} = Waktu relay untuk bekerja (s)

Dengan f_1 adalah frekuensi acuan pelepasan beban. Setelah laju penurunan frekuensi dan waktu trip tahap sebelumnya didapatkan, nilai frekuensi ketika terjadi pelepasan beban adalah :

$$f_{loadshedding} = f_0 - \left(\frac{df}{dt}\right) \times t_{trip} \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan keterangan persamaan :

$f_{loadshedding}$ = Frekuensi saat pelepasan beban (Hz)

$\frac{df}{dt}$ = Laju Penurunan Frekuensi (Hz/s)

f_0 = Frekuensi nominal (Hz)

2.15 Prioritas Beban

2.15.1 Jenis beban yang dilepaskan

Pelepasan beban diharapkan dapat memperbaiki frekuensi secara cepat tanpa harus banyak merugikan pengguna secara ekonomi. Oleh sebab itu, beban-beban yang disuplai oleh suatu generator sebaiknya diurutkani menurut parameter parameter sebagai berikut:

- a. Prioritas produksi pengolahan minyak
- b. Daya yang dibutuhkan

Beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan dalam memilih beban yang akan dilepaskan salah satunya adalah apakah beban tersebut sensitif terhadap kegiatan pengolahan produksi minyak. Jenis beban yang dilepaskan merupakan beban yang memiliki pengaruh paling rendah bagi proses pengolahan produksi minyak. Pada sistem tenaga listrik di suatu perusahaan minyak dan gas, beban yang tidak sensitif terhadap kegiatan usaha adalah rumah tinggal atau penginapan. Sedangkan beban yang sangat sensitif terhadap kegiatan usaha antara lain motor-motor untuk pengoprasian area produksi minyak.

2.15.2 Perhitungan beban yang dilepaskan

Besar beban yang dilepaskan pada saat penurunan frekuensi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_1 = P_{g1} \times \left(\frac{f_0}{f_1}\right)^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan keterangan persamaan :

P_1 = Daya sisa generator pada frekuensi yang diharapkan (MW)

P_{g1} = Daya sisa generator (MW)

f_1 = Frekuensi acuan pelepasan beban (Hz)

f_0 = Frekuensi nominal (Hz)

Maka digunakan persamaan berikut untuk mendapatkan besar beban yang dilepaskan.

$$\Delta P_1 = P_0 - P_1 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan keterangan persamaan :

ΔP_1 = Besar beban yang dilepaskan (MW)

P_0 = Total daya generator (MW)

P_1 = Daya sisa generator pada frekuensi yang diharapkan (MW)

2.16 Software ETAP 12.6. Power Station

ETAP Power Station memungkinkan kita bekerja atau menganalisis banyak hal hanya dengan diagram satu garis, diantaranya menganalisis *load flow*, *short circuit*, *harmonic*, keandalan sistem maupun pengaman pada motor. *Software* ini dirancang dengan tiga konsep utama. Yaitu: *virtual reality operation*, *total integration data*, dan *simplicity in data entry*.

Dalam ETAP 12.6 ini terdapat beberapa standar baku seperti: standar yang digunakan plant (ANSI atau IEC), frekuensi, maupun jenis-jenis elemennya (elemen AC, instrument, maupun elemen DC).

Adapun untuk menganalisis *load shedding* dalam ini analisis nilai frekuensi pada ETAP 12.6. *Power Station* dapat digunakan fitur *Transient Stability Analysis*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat penelitian

Pada penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan mulai pada bulan April 2021 sampai Juli 2021 yang berlokasi di PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan. Adapaun jadwal kegiatan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan										
		Jan 2021	Feb 2021	Mar 2021	Apr 2021	Mei 2021	Juni 2021	Juli 2021	Ags 2021	Sep 2021	Okt 2021	Januari 2022
1.	Studi Literatur											
2.	Penulisan Laporan Proposal											
3.	Seminar Proposal											
4.	Pemodelan dan Simulasi pada <i>ETAP 12.6.0</i>											
5.	Analisa dan Pembahasan											
6.	Penulisan Laporan Hasil											
7.	Seminar Hasil											

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Studi literatur

Pada tahap studi literatur ini akan dilakukan pengumpulan referensi yang akan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan analisis *load shedding* dan simulasi software ETAP 12.6. Dari referensi tersebut akan dipelajari analisis masalah pelepasan beban, metode, penggunaan *software* ETAP 12.6.0, dan hal hal lainnya yang berhubungan dengan analisis *load shedding*.

3.2.2 Observasi

Observasi, yaitu mengumpulkan data - data yang yang diperlukan untuk penelitian yang didapatkan dari lapangan. Data – data tersebut diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan di PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan.

3.2.3 Diskusi

Diskusi, yaitu melakukan konsultasi dan bimbingan dengan dosen pembimbing di Universitas Lampung dan pihak-pihak yang membantu dalam berjalannya proses penelitian ini.

3.2.4 Simulasi ETAP *Power Station* 12.6.0

Program ETAP 12.6.0, yaitu melakukan analisis *load shedding* dengan menggunakan simulasi program ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan nilai *under frequency* setelah terjadi gangguan.

3.3 Metode

Proses pertama dalam penelitian adalah melakukan pengambilan data, setelah itu, proses selanjutnya adalah melakukan pemodelan sistem dengan menggunakan *software* ETAP kemudian proses selanjutnya yakni analisis respon sistem ketika terjadi perubahan pada kecepatan putaran turbin (rpm). Setelah analisis *respon* sistem, dilakukan simulasi gangguan dengan study case gangguan pada sistem

kelistrikan PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan yaitu trip salah satu unit generator. Analisis yang dilakukan terhadap respon perubahan frekuensi yang terjadi setelah terjadinya gangguan kemudian dilakukan yang bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dapat kembali stabil atau tidak. Apabila sistem tidak dapat kembali stabil, maka dilakukan prosedur load shedding sesuai aturan SOP Pertamina dan IEEE skema 1 sama 3 langkah untuk kemudian efektivitas kedua prosedur tersebut dibandingkan berdasarkan jumlah beban yang dilepas dan waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan kembali sistem.

3.4 Simulasi analisis menggunakan *software ETAP 12.6*.

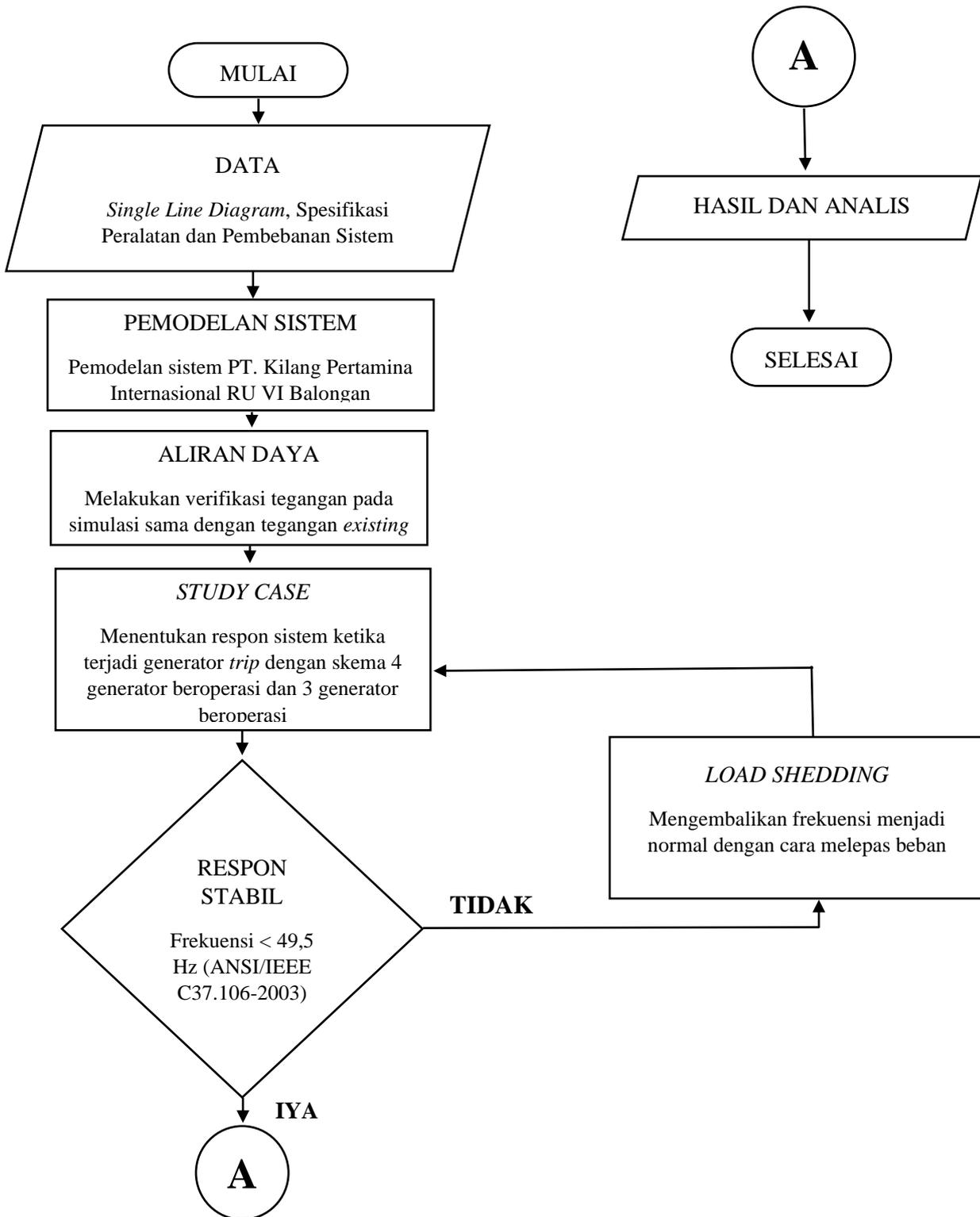
Langkah-langkah dalam pengoperasian simulasi pada ETAP 12.6 sebagai berikut :

1. *Start*
2. Menggambar single line diagram sistem PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan pada software ETAP 12.6.
3. Input data pembangkit, data *substation*, data *transformator*, dan data beban.
4. Menjalankan simulasi aliran daya
5. Menjalankan skenario pelepasan beban dari sistem kelistrikan PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan menggunakan *Transient Stability Analysis* untuk mengetahui respon frekuensi ketika salah satu generator lepas.
6. Mengecek apakah frekuensi dibawah standar dari PT. Pertamina RU VI
 - “Ya” : Melakukan load shedding
 - “Tidak” : Lakukan hasil dan analisis hasil.
7. Melakukan *load shedding*
8. Menghitung laju penurunan frekuensi ($\frac{df}{dt}$), menggunakan persamaan rumus
9. Menentukan besar beban yang dilepas dengan persamaan rumus
10. Melakukan skema pelepasan beban sesuai hasil perhitungan
11. Mengecek apakah frekuensi sistem kembali sesuai standar PT. Pertamina RU VI
 - “Ya” : Analisis hasil

- “Tidak” : Kembali ke langkah 6 dan mencoba kombinasi beban yang lain
12. Menganalisis dan membuat kesimpulan dari simulasi yang telah dilakukan. Apakah pelepasan beban yang dilakukan sudah dapat mengembalikan frekuensi ke standar dan menstabilkan sistem kelistrikan PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan.
 13. Selesai

3.5 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian. Berikut ini langkah-langkah penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. menjelaskan tentang proses pemodelan sistem PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan pada software ETAP yang sudah sesuai dengan kondisi *existing* berdasarkan aliran daya. Setelah itu dilakukan investigasi dengan cara penambahan beban untuk mengetahui respon yang terjadi pada sistem. Respon sistem yang diamati adalah respon frekuensi dan respon tegangan dengan skema simulasi saat 4 generator beroperasi dan terjadi satu generator lepas dan dua generator lepas, kemudian skema simulasi saat 3 generator beroperasi dan terjadi satu generator lepas dari sistem. Ketika terjadi penurunan frekuensi yang sangat signifikan dibawah 98%. Maka akan dilakukan pelepasan beban secara otomatis dengan menggunakan *under frequency relay* yang bekerja untuk membuka circuit breaker yang menghubungkan beban dengan sistem pembangkitan sehingga penurunan frekuensi tersebut dapat kembali naik menjadi normal.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Pada kasus lepasnya generator mengakibatkan frekuensi sistem menjadi turun dibawah standar (*under frequency*). Untuk mengembalikan kestabilan sistem, dalam skema 4 generator beroperasi kemudian lepasnya satu generator memerlukan pelepasan beban 1 tahap, dalam skema 3 generator beroperasi kemudian lepasnya satu generator memerlukan pelepasan beban 2 tahap.
2. Berdasarkan hasil analisis pada *study case* skema 4 generator beroperasi kemudian lepasnya satu generator dan setelah dilakukan *load shedding* tahap 1 frekuensi turun dan stabil di 49,75 Hz (99,5%), , dan pada skema 3 generator beroperasi kemudian lepasnya satu generator dan setelah dilakukan *load shedding* tahap 1 frekuensi turun dan stabil di 50,2 Hz (100,4%). dengan waktu tunda masing-masing skema adalah 0,15 s.
3. Berdasarkan rekomendasi dan perhitungan, area prioritas dalam pelaksanaan *load shedding* ini adalah pelepasan beban tahap 1 yaitu SS 22 dan Infrastruktur (2,668 MW), dan pelepasan beban tahap 2 yaitu 12-K-501 A, 12-K-501 B, dan SS 17 Proses (23,544 MW), Pemilihan beban ini berdasarkan analisis simulasi, perhitungan dan rekomendasi dari PT.Kilang Pertamina Internasional *Refinery Unit VI* Balongan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini hanya menggunakan asumsi penurunan tegangan melalui analisis aliran daya, sehingga sulit mendapatkan hasil yang mendekati respon yang sebenarnya. Dalam penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan aplikasi yang dapat mengetahui nilai penurunan tegangan yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nugraheni, "Simulasi Pelepasan Beban Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Pada Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd.," Universitas Indonesia, 2011.
- [2] Billiton Roy and Allan N. Ronald. 1984. "Reliability Evaluation of Power Systems," England. Pitman Books Limited.
- [3] C.N. Raghu, "Assessing Effectiveness of Research for Load Shedding in Power System". *Research Scholar, Jain University, Bangalore, India*, 2017.
- [4] G. Shahgholian, "Effect of Load Shedding Strategy on Interconnected Power Systems Stability When a Blackout Occurs," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol 4, No. 2, April 2012, pp. 212 – 217.
- [5] Hadi, A., Ervianto, E. "Studi Pelepasan Beban dengan Menggunakan Relai Frekuensi Kurang Pada Sistem Tenaga Listrik". Riau : Jom FTEKNIK, 2016. Volume 3.
- [6] Hyusni, M.A.A. "Sistem Proteksi pada Jaring Distribusi PT. Pertamina (Persero) RU-II Dumai dengan Menggunakan *Relay F35 Multiple Feeder Protection System*". Jakarta : Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pertamina, 2019.
- [7] IEEE, "Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants", 1987. IEEE Std C37.106-1987.
- [8] IEEE, "Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants", 2003. IEEE Std C37.106-2003.
- [9] Lomi Abraham, "Impact of Load Shedding on Frequency and Voltage System", *Electrical Engineering, National Technology Institute*, 2017.
- [10] Najamudin. "Pengaruh Tekanan Masuk dan Tekanan Keluar Turbin

Terhadap Daya Penggerak Generator". Program Studi Teknik Mesin. Universitas Bandar Lampung, 2019.

- [11] Pidri, "Keandalan Kontingensi (N-1) Sistem 20 kV PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan-Indramayu". Yogyakarta : Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, 2019.
- [12] Sulistiawati. I. Budi, "*Analysis of Under-frequency Load Shedding (UFLS) Relay Setting during Disturbances*". Malang : *Electrical Engineering, National Technology Institute*. 2019.