

***UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) SEBAGAI
DEFENSE SCHEME PADA SISTEM INTERKONEKSI
KALIMANTAN***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana S1
Pada Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung



OLEH :

NAMA : ADINDA RAHMA SATYA MEUNASAH

NIM : 30602200099

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2024**

FINAL PROJECT

***UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) AS DEFENSE
SCHEME IN KALIMANTAN INTERCONNECTION SYSTEM***



**Arranged By :
ADINDA RAHMA SATYA MEUNASAH
30602200099**

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) SEBAGAI DEFENSE SCHEME PADA SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN**” ini disusun oleh:

Nama : Adinda Rahma Satya Meunasah
NIM : 30602200099
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 5 Desember 2024

Pembimbing

Tanda Tangan

Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN : 0619107301

Mengetahui,

Kepala Program Studi Teknik Elektro

Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) SEBAGAI DEFENSE SCHEME PADA SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 5 Desember 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM
NIDN : 0628086501
Ketua



Dr. Gunawan, S.T., M.T.
NIDN : 0607117101
Penguji I



Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN : 0619107301
Penguji II



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Adinda Rahma Satya Meunasah
NIM : 30602200099
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) SEBAGAI DEFENSE SCHEME PADA SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 18 November 2024

Yang Menyatakan



Adinda Rahma Satya Meunasah

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adinda Rahma Satya Meunasah

NIM : 30602200099

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* dengan judul :

UNDER FREQUENCY LOAD SHEDDING (UFLS) SEBAGAI DEFENSE SCHEME PADA
SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 10 Desember 2024

Yang menyatakan,



(Adinda Rahma Satya M)

*Coret yang tidak perlu

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur bagi Allah SWT karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya masih berkesempatan dalam menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat dan Shalawat serta Salam tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelas kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Yaa Robbaalalamin. Penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1) di Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan penelitian ini, pastinya banyak pihak yang sudah memberikan bantuan baik moral dan material. Oleh karena itu saya menyampaikan ucapan Jazakumullah Khoiron Katsiroh dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya yang diberikan kepada saya, sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini dan Nabi Muhammad SAW yang jadi penuntun setiap umat manusia dalam menempuh dan meraih kebahagiaan di dunia dan akhirat.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., M.Hum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Novi Mariyana, ST., MT., IPU., ASEAN, Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Bapak Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., MT. selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan kebijaksanaan telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan penelitian hingga selesai.
6. Seluruh Dosen jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu, wawasan, dan arahan selama masa perkuliahan. Serta seluruh Staff Teknik Elektro yang selalu siap membantu dalam berbagai urusan administratif dan teknis selama masa perkuliahan.
7. Bapak, Ibu, Adik serta Saudara-saudara saya tercinta atas dukungan kepada saya berupa kasih sayang, keridloan, doa dan motivasi yang telah diberikan.
8. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan moral, semangat, serta saran dan kritik yang membangun. Kebersamaan dan kerja sama kalian sangat membantu dalam menjalani perkuliahan.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan hingga selesainya penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis.

Semarang, 18 November 2024

Yang menyatakan,

Adinda Rahma Satya Meunasah

ABSTRAK

Sistem kelistrikan di Kalimantan Selatan Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur, juga tidak bisa terhindar dari gangguan sistem, baik oleh gangguan sistem pembangkit maupun gangguan sistem penyaluran yang mengakibatkan padam sebagian (*partial blackout*) maupun padam total (*total blackout*). Pemadaman dapat terjadi akibat kegagalan peralatan yang disebabkan oleh *drop* frekuensi pada sistem karena ketidakseimbangan antara beban pembangkitan dan beban konsumen maupun terputusnya jalur evakuasi daya keluaran pembangkit. Untuk mengantisipasi gangguan tersebut maka diperlukan pengaturan pelepasan beban secara bertahap atau *Under Frequency Load Shedding* dengan menggunakan *Under Frequency Relay* (UFR). Pelepasan beban dilakukan secara bertahap sesuai dengan frekuensi yang terdapat pada sistem dimana Tahap 1 akan bekerja pada frekuensi 49.20 Hz, tahap 2 akan bekerja pada frekuensi 49.15 Hz, tahap 3 akan bekerja pada frekuensi 49.00 Hz, tahap 4 akan bekerja pada frekuensi 48.90 Hz dan tahap 5 bekerja pada frekuensi 48.80 Hz. Untuk mengetahui hasil Strategi *Defense Scheme* yang berfungsi dengan baik dapat diketahui dari kondisi sistem yang seimbang setelah terjadi gangguan yang dapat dilihat pada frekuensi sistem dengan batasan 49.5 Hz – 50.5 Hz melalui simulasi yang dilakukan pada *software DigSILENT Power Factory* dimana akan disimulasikan gangguan trip pembangkit maupun gangguan pada SUTT 150kV. Skema pelepasan beban yang dirancang mampu mengakomodir kehilangan supply pembangkit apabila terjadi gangguan pada sistem pembangkitan maupun pada sistem penyaluran dimana frekuensi kembali pada batas aman yakni 49.5 Hz hingga 50.00 Hz dengan melepas beban sesuai dengan target penyulang yang telah direncanakan sebelumnya.

Kata Kunci : *UFR (Under Frequency Relay). Pelepasan Beban (Load Shedding), Drop Frekuensi.*

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Landasan Teori.....	7
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.2.2 Pembangkit Listrik.....	8
2.2.3 Transmisi.....	9
2.2.4 Gardu Induk.....	10
2.2.5 Sistem Distribusi.....	13
2.2.6 Besaran Listrik.....	14
2.2.7 Perilaku Sistem Saat Terjadinya Hilang Daya Pembangkit.....	16
2.2.8 Under Frequency.....	19
2.2.9 Software DIgSILENT Power Factory.....	20
BAB III : METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Metode Penelitian.....	21
3.1.1. Perancangan Sistem.....	21
3.1.2. Perlakuan Frekuensi Sistem.....	22
3.1.3. Langkah – Langkah Menentukan Beban <i>Load Shedding</i>	24
3.1.4. Kondisi <i>Overload</i> Maksimum yang Akan Diantisipasi.....	24
3.1.5. Jumlah Tahapan <i>Load Shedding</i>	25
3.1.6. Besar Beban yang Dilepas Setiap Tahapan.....	28
3.1.7. Prioritas Beban <i>Load Shedding</i>	28
3.1.8. Keseimbangan Beban Terhadap Pembangkit <i>Base Load</i>	28
3.1.9. Setting Frekuensi.....	30
3.1.10. Tunda Waktu.....	34
3.1.11. Penentuan Skema Over Frequency Relay (OFR).....	34

3.1.12.	Kondisi <i>Over Frequency</i> yang Akan Diantisipasi	35
3.2.	Simulasi Sistem dengan Software DIgSILENT Power Factory	35
3.2.1.	Mengumpulkan Data Beban	36
3.2.2.	Mengumpulkan Parameter Gardu Induk	37
3.2.3.	Input Data ke Software DIgSILENT Power Factory	37
BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA		38
4.1.	Hasil Pengujian Simulasi <i>DigSILENT Power Factory</i>	38
4.1.1.	Hasil Pengujian Kondisi Normal	38
4.1.2.	Hasil Pengujian Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	41
4.1.3.	Hasil Pengujian Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR	42
4.1.4.	Hasil Pengujian Trip PLTU GPK 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	46
4.1.5.	Hasil Pengujian Trip PLTU GPK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR	48
4.1.6.	Hasil Pengujian Trip PLTU TPI 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	52
4.1.7.	Hasil Pengujian Trip PLTU TPI 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR	53
4.1.8.	Hasil Pengujian Trip PLTU Asam – Asam Unit 5 dan 6 Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	57
4.1.9.	Hasil Pengujian Trip PLTU Asam – Asam Unit 5 dan 6 Saat Terpasangnya Relay UFR	58
4.1.10.	Hasil Pengujian Trip PLTMG Bangkanai Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	63
4.1.11.	Hasil Pengujian Trip PLTMG Bangkanai Saat Terpasangnya Relay UFR	64
4.1.12.	Hasil Pengujian Trip PLTU Teluk Balikpapan 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	68
4.1.13.	Hasil Pengujian Trip PLTU Teluk Balikpapan 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR	69
4.1.14.	Hasil Pengujian Trip PLTU Indoeka 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	74
4.1.15.	Hasil Pengujian Trip PLTU Indoeka 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR	75
4.1.16.	Hasil Pengujian Gangguan SUTT 150 kV Tanjung - Komam Saat Belum Terpasangnya Relay UFR	79
4.1.17.	Hasil Pengujian Gangguan SUTT 150kV Tanjung - Komam Saat Terpasangnya Relay UFR	80
4.2.	Analisa Hasil Uji	81
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN		84
5.1.	Kesimpulan	84
5.2.	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Sistem Kelistrikan di Kalimantan	1
Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2. 2 Generator Sinkron	8
Gambar 2. 3 Pembangkit Listrik Tenaga Air	9
Gambar 2. 4 Jaringan Transmisi	10
Gambar 2. 5 <i>Switchyard</i>	12
Gambar 2. 6 Gedung Gardu Induk.....	12
Gambar 2. 7 Sistem Distribusi	14
Gambar 2. 8 Lepasnya Sebuah Pembangkit Dari Sistem.....	17
Gambar 2. 9 Grafik Penurunan Frekuensi	18
Gambar 2. 10 Grafik Variasi Penurunan Frekuensi Berdasarkan Variasi <i>Overload</i> dan Momen <i>Inersia</i> Sistem.....	19
Gambar 3. 1 Subsistem Kaltimra	21
Gambar 3. 2 Subsistem Kalselteng	22
Gambar 3. 3 Pengendalian Frekuensi Sistem.....	23
Gambar 3. 4 Tongkat Frekuensi Sistem	24
Gambar 3. 5 Flowchart Skema UFLS Sistem Interkoneksi Kalimantan	27
Gambar 3. 6 Flowchart Simulasi.....	36
Gambar 4. 1 Frekuensi Sistem Saat Kondisi Normal	40
Gambar 4. 2 Frekuensi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU SLK Tanpa UFR.....	41
Gambar 4. 3 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR	42
Gambar 4. 4 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU GPK 2 Unit Tanpa Relay UFR	47
Gambar 4. 5 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU GPK 2 Unit Dengan Relay UFR	48
Gambar 4. 6 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU TPI 2 Unit Tanpa Relay UFR	52
Gambar 4. 7 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU TPI 2 Unit Saat terpasangnya Relay UFR	53
Gambar 4. 8 Frekuensi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 Tanpa UFR	58
Gambar 4. 9 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 Dengan Relay UFR ..	59
Gambar 4. 10 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai Tanpa UFR.....	63
Gambar 4. 11 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai.....	64
Gambar 4. 12 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Tanpa UFR.....	69
Gambar 4. 13 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan dengan Relay UFR	70
Gambar 4. 14 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Indoeka Trip 2 Unit	74
Gambar 4. 15 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Indoeka 2 Unit	75
Gambar 4. 16 Frekuensi Sistem Saat Terjadi Gangguan pada SUTT 150 kV Tanjung – Komam Tanpa Relay UFR	80
Gambar 4. 17 Frekuensi Sistem Saat Terjadi Gangguan pada SUTT 150kV Tanjung – Komam dengan Relay UFR	81

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Suplai Beban Terbesar.....	25
Tabel 3. 2 Skema UFLS Sistem Interkoneksi Kalimantan.....	26
Tabel 3. 3 Load Shedding UFR Penyulang Sub Sistem Kalselteng.....	29
Tabel 3. 4 Load Shedding UFR Penyulang Sub Sistem Kaltimra.....	30
Tabel 3. 5 Skema UFLS Penyulang Tahap 1.....	30
Tabel 3. 6 Skema UFLS Penyulang Tahap 2.....	31
Tabel 3. 7 Skema UFLS Penyulang Tahap 3.....	32
Tabel 3. 8 Skema UFLS Penyulang Tahap 4.....	33
Tabel 3. 9 Skema UFLS Penyulang Tahap 5.....	34
Tabel 4. 1 Kondisi Sistem Saat Tidak Terjadi Gangguan (Kondisi Normal)	38
Tabel 4. 2 Daya Mampu Netto Pembangkit Saat Kondisi Sistem Normal	39
Tabel 4. 3 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU SLK.....	41
Tabel 4. 4 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU SLK Unit 1 & 2	43
Tabel 4. 5 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU SLK Unit 1 dan Unit 2	43
Tabel 4. 6 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU SLK Unit 1 dan Unit 2.....	45
Tabel 4. 7 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU GPK	47
Tabel 4. 8 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU GPK Unit 1 & 2	48
Tabel 4. 9 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU GPK Unit 1 dan Unit 2.....	49
Tabel 4. 10 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU GPK Unit 1 dan Unit 2.....	51
Tabel 4. 11 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU TPI	53
Tabel 4. 12 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU TPI Unit 1 dan 2	54
Tabel 4. 13 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2	54
Tabel 4. 14 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Terjadi Trip PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2.....	56
Tabel 4. 15 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Asam-Asam Unit 5 dan Unit 6	58
Tabel 4. 16 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2	59
Tabel 4. 17 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6.....	60
Tabel 4. 18 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6	62
Tabel 4. 19 Kondisi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai.....	64
Tabel 4. 20 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai	65
Tabel 4. 21 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTMG Bangkanai	65
Tabel 4. 22 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTMG Bangkanai	67

Tabel 4. 23 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Teluk Balikpapan	69
Tabel 4. 24 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2	70
Tabel 4. 25 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2.71	
Tabel 4. 26 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2	73
Tabel 4. 27 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Indoeka	75
Tabel 4. 28 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2	76
Tabel 4. 29 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2	76
Tabel 4. 30 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2.....	78



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan suatu bentuk energi sekunder yang paling cepat ditransfer dan paling mudah untuk digunakan. Listrik dihasilkan dari proses konversi sumber energi primer seperti potensial air, batubara, minyak bumi, dan energi angin. Sistem pembangkit listrik yang umum digunakan adalah mesin generator, dimana penggerak utamanya dapat berupa mesin turbin, mesin diesel atau mesin baling-baling yang kemudian diantarkan ke pusat – pusat beban (pelanggan). Keuntungan dari bentuk energi listrik adalah bahwa energi ini dapat diantarkan dan dikendalikan dengan relatif mudah serta dengan tingkat efisiensi dan keandalan yang tinggi. Kualitas daya listrik dikatakan baik apabila memenuhi standar frekuensi nominal sistem, tegangan nominal sistem, serta tingkat keandalan sistem tenaga listrik yang tinggi[1]. Kestabilan suatu sistem dapat dilihat melalui bertahannya sistem tenaga listrik dari kemampuan bertahan dengan memaksimalkan sistem generator dan beberapa parameter lainnya.



Gambar 1. 1 Sistem Kelistrikan di Kalimantan

Sistem Tenaga Listrik di Wilayah Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Timur dinamakan Sistem Interkoneksi Kalimantan, yang mana merupakan sistem interkoneksi melalui penghantar tegangan tinggi 70 kV dan 150 kV yang menghubungkan pusat-pusat pembangkit melalui gardu-gardu induk ke pusat-pusat beban di

seluruh wilayah Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur. Seperti sistem kelistrikan yang ada di daerah lain, sistem kelistrikan di Kalimantan Selatan Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur, juga tidak bisa terhindar dari gangguan sistem, baik oleh gangguan sistem pembangkit maupun gangguan sistem penyaluran yang disebabkan oleh kondisi alam. Gangguan tersebut memang tidak bisa dihindari yang mana akan berdampak pada sistem sehingga terjadinya gangguan padam sebagian (*partial blackout*) maupun padam total (*total blackout*). Sistem Interkoneksi Kalimantan memiliki panjang 5895 kms dengan topologi 60% jalur radial dimana PLTU berkontribusi 70% dari total pembangkit yang ada di Kalimantan. Tercatat pada tahun 2022 pada sistem Interkoneksi Kalimantan mengalami gangguan transmisi sebanyak 395 kali yang mana 315 berhasil bertahan sedangkan 80 lainnya mengalami gangguan beberapa pembangkit keluar dari sistem[2].

Untuk mengantisipasi gangguan tersebut maka diperlukan upaya untuk meningkatkan keandalan sistem dan menjaga kontinuitas pasokan energi listrik dengan cara meminimalisir terjadinya gangguan meluas akibat gangguan sistem pembangkit maupun sistem penyaluran. Salah satu upaya untuk menjaga keandalan sistem, terutama terhadap gangguan lepasnya pembangkit secara tiba-tiba adalah dengan pengaturan pelepasan beban secara bertahap atau *Load Shedding* dengan menggunakan *Under Frequency Relay* (UFR). Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan membahas solusi untuk mempertahankan sistem agar tidak terjadi gangguan meluas (*blackout*) dengan membuat defense scheme sistem.

Tujuan pengaturan Operasi Sistem secara rasional untuk mendapatkan nilai ekonomis dengan memperhatikan mutu dan keandalan sehingga penggunaan tenaga listrik dapat mencapai daya guna dan hasil guna yang semaksimal mungkin. Sistem Interkoneksi Kalimantan memiliki pembangkit dengan suplai daya yang besar dan jalur transmisi *back bone*, apabila terjadi gangguan pada pembangkit dengan suplai daya yang besar atau pada jalur transmisi *back bone* maka akan mengakibatkan gangguan sistem meluas pada Sistem Interkoneksi Kalimantan, oleh karena itu perlunya dibuat strategi Skema Pertahanan (*Defense Scheme*) untuk mengantisipasi hal tersebut. Dengan simulasi menggunakan *software* DigSILENT Power Factory, kita dapat merancang dan mensimulasikan kondisi sistem sebelum gangguan (*base case*), saat terjadi gangguan, dan setelah terjadi gangguan.

Dengan demikian kita dapat membuat simulasi penormalan sesuai dengan tahapan setting UFR yang kita tentukan. Pelepasan beban dilakukan secara bertahap sesuai dengan frekuensi yang terdapat pada sistem dimana Tahap 1 akan bekerja pada frekuensi 49.20 Hz, tahap 2 akan bekerja pada frekuensi 49.15 Hz, tahap 3 akan bekerja pada frekuensi 49.00 Hz, tahap 4 akan bekerja pada frekuensi 48.90 Hz dan tahap 5 bekerja pada frekuensi 48.80 Hz. Untuk mengetahui hasil Strategi *Defense Scheme* yang berfungsi dengan baik dapat diketahui dari kondisi sistem yang seimbang setelah terjadi gangguan. Kondisi sistem yang seimbang dapat dilihat dari suplai daya yang dibangkitkan pembangkit sama dengan beban yang dikonsumsi dan dapat dilihat pada frekuensi sistem dengan batasan 49.50 Hz – 50.50 Hz.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pembuatan Penelitian ini, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi Sistem Interkoneksi Kalimantan pada PT PLN (Persero) UIP3B Kalimantan saat mengalami hilang *supply* pada sistem saat terjadi gangguan pada sistem pembangkitan maupun sistem penyaluran ?
2. Bagaimana gambaran dari simulasi *Load Shedding* serta *island operation* dengan menggunakan relay UFR pada Sistem Interkoneksi Kalimantan?
3. Apakah simulasi *Load Shedding* serta *island operation* dengan menggunakan relay UFR mampu menghindari terjadinya padam meluas pada sistem dan mampu mengembalikan frekuensi ke rentang nominal ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah untuk penelitian ini sebagai berikut :

1. Strategi *Load Shedding* dan pembentukan *Island Operation* ini yang dimaksud adalah pelepasan beban secara otomatis saat frekuensi sistem mengalami penurunan yang dilakukan dengan menggunakan UFR (*Under Frequency Relay*).
2. *Under Frequency Load Shedding* serta pembentukan *Island Operation* yang dimaksud akan dilakukan pada frekuensi 49.20 Hz sampai dengan 48.60 Hz. Jika penurunan frekuensi masih berlanjut maka pada frekuensi 48.40 Hz sampai dengan 48.00 Hz, Sub Sistem (*Island Operation*) yang telah direncanakan akan terbentuk.
3. Simulasi *Load Shedding* dan pembentukan *Island Operation* ini menggunakan *software* DIgSILENT Power Factory.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah:

1. Menentukan pelepasan beban secara bertahap sebagai skema pertahanan sistem saat turunnya frekuensi akibat kehilangan *supply* yang disebabkan oleh gangguan pada sistem pembangkitan maupun sistem penyaluran.
2. Menentukan apakah skema pelepasan beban secara bertahap sebagai skema pertahanan sistem saat turunnya frekuensi akibat kehilangan *supply* yang disebabkan oleh gangguan pada sistem pembangkitan maupun sistem penyaluran mampu meminimalisir terjadinya gangguan yang meluas melalui sebuah simulasi.
3. Merencanakan, mendesain, dan menerapkan pelepasan beban (*Load Shedding*) dan pembentukan *Island Operation* pada Subsistem Kalselteng dan Subsistem Kaltimra di Sistem Interkoneksi Kalimantan untuk mengembalikan frekuensi ke rentang nominal pasca gangguan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan keandalan sistem Interkoneksi Kalimantan melalui defense scheme yang telah didesain sedemikian rupa, sehingga mampu menyelamatkan sistem agar tidak terjadi gangguan meluas.
2. Untuk mempertahankan kondisi pembangkitan apabila terjadi gangguan pada sistem sehingga tidak diperlukan waktu yang lama untuk proses pemulihan sistem.
3. Menjaga penyaluran sistem tenaga listrik dari PLN ke pelanggan dengan meningkatkan kemampuan sistem dalam merespon gangguan secara tepat dan cepat.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan laporan Skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini merupakan isi informasi penting mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan skripsi, ruang lingkup permasalahan, metodologi penelitian serta sistematika penyusunan skripsi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori – teori dasar dari peralatan atau komponen yang digunakan dan juga keterangan - keterangan lain yang mendukung skripsi ini, serta teori dasar aliran daya, sistem tenaga listrik, perhitungan pelepasan beban dan software *DigSILENT Power Factory*

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang pendekatan penelitian, metode penelitian, alat dan bahan, rancangan sistem, dan pengambilan kesimpulan

BAB 4. HASIL UJI DAN ANALISA HASIL UJI

Bab ini mencakup tentang perhitungan rugi – rugi daya dan jatuh tegangan serta hasil simulasi melalui perangkat lunak *DigSILENT Power Factory*

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran – saran yang didasarkan pada kesimpulan tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penyusunan penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian atau makalah yang membahas tentang perancangan tahapan pelepasan beban dan *Under Frequency Load Shedding* seperti berikut ini:

- a. Fadli, Muhamad “Skema *Automatic Under Frequency Load Shedding* Pada Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat,” 2022 Tugas Akhir Teknik Elektro Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat, mengenai skema *Automatic Under Frequency Load Shedding* yang dapat mengembalikan frekuensi sistem ke nilai nominalnya secara lebih efektif dari pada skema yang sudah ada. Metode penelitian adalah simulasi transient menggunakan aplikasi *Digsilent PowerFactory*. Skema yang diperoleh memberikan hasil yang lebih baik dari skema eksisting. Daya beban yang dilepas skema penelitian lebih kecil dari pada skema eksisting dengan total daya 97 MW pada keadaan LWBP dan 98 MW pada WBP, sementara dengan skema eksisting sebesar 100 MW pada keadaan LWBP dan 104 MW pada keadaan WBP. Dari daya beban yang dilepas skema penelitian mendapatkan hasil frekuensi steadystate berada pada nilai nominal dan tidak ada mengalami *Overfrequency*.
- b. Amelia, Rizqi “Studi Pelepasan Beban Berbasis *Under Frequency Relay* Pada Sistem Tenaga Listrik,” 2018 Skripsi Teknik Elektro Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah, mengenai perubahan beban secara tiba-tiba dapat menurunkan frekuensi kerja apabila sudah melebihi kapasitas generator. Seiring perkembangan jaringan dan meningkatnya beban sistem serta bertambahnya unit pembangkit maka perlu dilakukan peninjauan ulang program pelepasan beban menggunakan UFR dengan menentukan frekuensi berdasarkan laju penurunan frekuensi dan melepas beban sesuai dengan ketetapan yang telah ditentukan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi trip pada pembangkit PLTU Tanjung Jati unit 4 pelepasan beban sebesar 79,68MW dan penurunan frekuensi sebesar 49.329Hz diakibatkan terjadinya kekurangan daya yang tersedia dimana daya yang dibangkitkan lebih kecil dari pada sistem.
- c. N. Nuswantara, W.G Ariastina, A.A.N Amrita “Studi Kestabilan Sistem dan Pelepasan Beban (*Load Shedding*) Berdasarkan Standar IEEE di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit IV.” 2017 Jurnal Teknik Elektro Universitas Udayana, Denpasar, Bali, studi terhadap kestabilan sistem PT. Pertamina RU IV dan *load shedding* yang diberlakukan dengan menggunakan standar IEEE sebagai acuan pada . Hasil studi menunjukkan, penggunaan *load shedding* IEEE untuk mengatasi masalah kestabilan sistem di PT. Pertamina RU IV lebih efektif, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian kestabilan sistem dimana prosedur load shedding IEEE berhasil menstabilkan kembali frekuensi sistem menjadi 99,85% dalam waktu 23

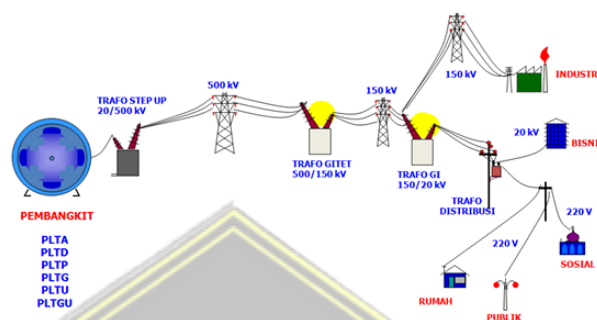
detik, 98,5% dalam waktu 8 detik, 99,16% dalam waktu 40 detik menjadi 98,48% dalam waktu 70 detik pada 4 studi kasus yang dilakukan.

- d. Sofyar, “Studi Skenario *Load Shedding* Pada Penyulang Dalam Operasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan *Under Frequency Relay*,” 2020 Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer Akademi Teknik Pembangunan Nasional Banjarbaru, Banjarbaru, Kalimantan Selatan mengenai *Load shedding* atau pelepasan beban pada penyulang dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *under frequency relay* (UFR). Pada penelitian ini dibuat simulasi program komputer untuk menganalisis tahapan *load shedding* yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) Sektor Barito sehingga dapat diketahui respon frekuensi akhir setelah dilakukan pelepasan beban dan selanjutnya mencoba memberikan usulan tahapan pelepasan beban yang lain untuk mendapatkan respon frekuensi yang baik. Pada output dari simulasi program diperlihatkan untuk pembebanan maksimum 77,9 MW, frekuensi akhirnya adalah 50,61 Hz dan untuk pembebanan minimum 53 MW, frekuensi akhirnya sebesar 50,02 Hz dengan kondisi sistem kehilangan satu unit pembangkit (skenario pertama). Kemudian untuk kondisi sistem kehilangan dua unit pembangkit terbesarnya (skenario kedua), pada pembebanan maksimum 77,9 MW dan minimum 53 MW, frekuensi akhirnya masing-masing sebesar 49,7 Hz dan 50,3 Hz.
- e. Raharja, Yogi “Analisis Pelepasan Beban (*Load Shedding*) menggunakan *Under Frequency Load Shedding* (UFLS) Berdasarkan Standar IEEE Pada PT. Kilang Pertamina Internasional *Refinery Unit VI Balongan*,” 2022 Skripsi Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung mengenai 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.

2.2.Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik yaitu suatu jaringan listrik yang terdiri dari pembangkitan, penyaluran dan distribusi. Sistem tenaga listrik dapat juga diartikan sekumpulan pusat listrik dan gardu induk yang satu sama lain terhubung dengan jaringan transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan Interkoneksi.



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

Gambar 2.1 di atas adalah gambar sistem tenaga listrik yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi, sistem distribusi yang terdiri dari saluran distribusi dan konsumen. Sistem tenaga listrik berfungsi untuk membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkit sampai konsumen. Komponen utama dari sistem tenaga listrik dalam skala yang besar terdiri dari :

- Pembangkit
- Transmisi dan Gardu Induk
- Sistem Distribusi.

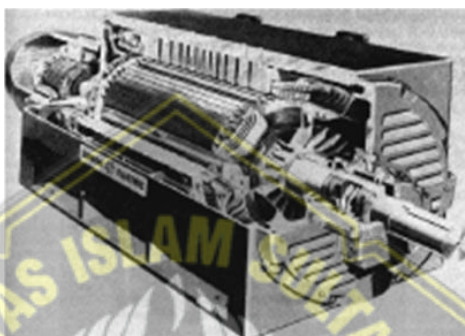
Energi listrik dibangkitkan pada pusat pembangkit tenaga listrik, karena umumnya sumber energi berada jauh dari pusat beban diperlukan transmisi tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik umumnya membangkitkan tegangan pada *medium voltage*, agar efisien energi listrik ditransmisikan pada tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi.

Transmisi tenaga listrik mengirimkan listrik dari pembangkit ke Gardu Distribusi atau pengguna industri. Sistem transmisi menyalurkan listrik dalam jumlah besar dengan jarak yang jauh. Kerugian daya di konduktor berbanding lurus dengan kuadrat arus dan berbanding terbalik dengan resistansinya. Untuk mengurangi kerugian daya, transmisi dilakukan pada tegangan tinggi, memungkinkan pengiriman arus dengan arus rendah. Transformator *step-up* meningkatkan tegangan dari pembangkit ke level transmisi tinggi, yang kemudian diturunkan oleh transformator *step-down* di Gardu Induk sebelum masuk jaringan distribusi. Besaran daya yang ditransmisikan bervariasi tergantung kapasitas pembangkit dan kebutuhan permintaan[3].

2.2.2 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik adalah subsistem tenaga listrik yang terdiri dari instalasi elektrikal, mekanikal, bangunan, dan fasilitas pelengkap yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Secara umum suatu pembangkit terdiri atas dua komponen yakni generator (komponen elektrik) dan penggerak mula/*prime mover* (komponen mekanik).

Generator yang digunakan pada sistem pembangkitan berjenis mesin sinkron, yang berarti frekuensi listrik yang dihasilkan sebanding dengan perputaran mesin (rotor) generator.



Gambar 2. 2 Generator Sinkron

Gambar 2.2 adalah salah satu komponen dari pembangkit yaitu generator sinkron yang terdiri dari stator, rotor, sikat-sikat arang dan *bearing* yang berfungsi merubah putaran menjadi energi listrik. Komponen Mekanik merupakan komponen pembangkit yang menghasilkan perputaran mesin generator (energi mekanik) dari energi primer yang digunakan. Komponen ini biasa disebut *prime mover* (penggerak mula). Jenis *prime mover* dapat berupa mesin diesel, turbin gas, turbin air, turbin uap. Pemilihan *prime mover* ini didasarkan kepada ketersediaan energi primer, kondisi geografis dan tingkat keekonomian. Jenis-jenis pembangkit berdasarkan penggerak mulanya yakni:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
5. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)
6. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
7. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Gambar 2.3 di bawah ini adalah satu jenis dari pembangkit dengan penggerak mula air. Air dalam bendungan dialirkan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik.



Gambar 2. 3 Pembangkit Listrik Tenaga Air

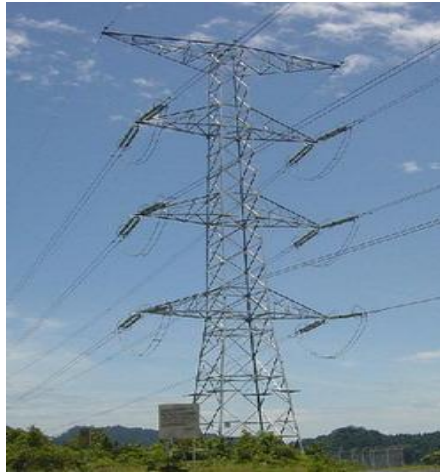
Berdasarkan jenis tenaga yang dirubah menjadi tenaga listrik pembangkit dapat dikelompokkan menjadi:

1. Tenaga panas (thermal) dibagi menurut sumber tenaga panas yang dipakai, yaitu :
 - a. Berbahan bakar fosil : batubara (coal), minyak bumi (oil) dan gas alam (natural gas).
 - b. Tenaga panas bumi (*geothermal*).
2. Tenaga air (*hydro*).
3. Tenaga nuklir

Tegangan pada sistem pembangkitan biasanya berada pada rentang 11kV hingga 35kV yang selanjutnya tegangan tersebut dinaikkan menjadi tegangan tinggi, kemudian disalurkan melalui Saluran Transmisi Tegangan Tinggi maupun Saluran Transmisi Tegangan Extra Tinggi ke Gardu Induk untuk diturunkan tegangannya[1].

2.2.3 Transmisi

Sistem transmisi adalah proses untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik sampai ke pusat-pusat beban (Gardu Induk) melalui saluran transmisi. Sistem Transmisi menghubungkan pusat pembangkit dan pusat beban dalam sebuah sistem dimana terdiri dari sistem tenaga listrik yang terintegrasi dan dioperasikan pada tegangan tinggi [1].



Gambar 2. 4 Jaringan Transmisi

Gambar 2.4 adalah salah satu contoh jaringan transmisi menggunakan saluran udara. Kawat-kawat transmisi ditopang oleh tower transmisi. Transmisi melalui saluran udara lebih banyak digunakan daripada transmisi melalui kabel tanah.

Tenaga listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit listrik disalurkan melalui kawat-kawat (saluran) transmisi yang selanjutnya diterima oleh pusat beban baik secara langsung maupun melalui saluran penghubung dan gardu-gardu induk.

Saluran transmisi sebagai sarana penyedia energi listrik harus:

1. Tersedia setiap saat (untuk memenuhi kebutuhan konsumen).
2. Tetap terjaga kestabilan tegangannya.
3. Tetap terjaga kestabilan frekuensinya.
4. Memenuhi standar keamanan.
5. Ramah lingkungan.

Penghantar yang banyak dipakai pada saluran transmisi adalah tembaga dan aluminium. Jenis penghantar dan panjang penghantar mempengaruhi besarnya nilai impedansi saluran transmisi.

2.2.4 Gardu Induk

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator *step down* menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Gardu induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan kontrol. Gardu induk merupakan salah satu komponen utama dalam suatu proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen (beban).

Fungsi utama dari gardu induk adalah sebagai berikut:

1. Mengatur aliran tenaga listrik dari saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain.

2. Mendistribusikan ke konsumen.
3. Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
4. Sebagai tempat kontrol dan pengaman operasi sistem.

Dari sini terlihat bahwa peralatan dalam gardu induk harus memiliki keandalan yang tinggi sehingga kualitas tenaga listrik yang sampai ke konsumen dapat optimal dan konsumen tidak akan merasa dirugikan. Kontinuitas pelayanan yang baik dan keandalan yang tinggi dari peralatan ditetapkan dengan memperhatikan segi ekonomis dan standar yang berlaku, sehingga keandalan dari peralatan tersebut dapat optimal, sedangkan untuk penempatan peralatan direncanakan sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasian dan perawatan dapat dilakukan dengan mudah, aman, dan efektif.

Dalam perencanaan pembangunan suatu gardu induk harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Konstruksi sederhana dan kuat.
2. Pengoperasian, perawatan dan perbaikan mudah.
3. Mempunyai tingkat keandalan yang tinggi.
4. Mempunyai tingkat keamanan yang tinggi.

Sedangkan dalam menentukan lokasi tempat pembangunan suatu gardu induk harus memperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Letaknya dekat dengan beban dan jalan raya yang kuat dan lebar.
2. Tanahnya cukup baik dan bebas dari bahaya banjir.
3. Tidak dekat dengan pantai sehingga tingkat kontaminasi garamnya (korosi) relatif kecil.
4. Lokasi gardu induk tidak terlalu dekat dengan perumahan penduduk dan pada saat pengoperasiannya tidak mempengaruhi lingkungan sekitar.

Dalam gardu induk terdapat bagian bagian tempat terpasangnya peralatan tenaga listrik, yaitu:

1) Switchyard

Switchyard adalah tempat terpasangnya peralatan tegangan tinggi yang terhubung langsung dengan tegangan sistem[4]. *Switchyard* biasanya berada pada gardu konvensional.



Gambar 2. 5 *Switchyard*

Gambar 2.5 adalah gambar *switchyard* yang di dalamnya terdapat peralatan tegangan tinggi yaitu: Trafo tenaga, PMT, PMS, CT, PT, LA, Busbar atau rel, *wave trap* dan tower.

2) Gedung

Gedung berfungsi untuk memipatkan peralatan peralatan proteksi dan tegangan DC, serta peralatan komunikasi.



Gambar 2. 6 Gedung Gardu Induk

Gambar 2.6 adalah gambar dari gedung Gardu Induk yang berisi peralatan: panel relai proteksi, panel kontrol, meter pengukuran, peralatan komunikasi seperti: telepon, radio pemancar, komputer, serta baterai dan *rectifier*.

3) Peralatan Pendukung

Digunakan untuk mendukung kinerja sistem tenaga listrik agar handal dan stabil. Peralatan pendukungnya adalah : *Reaktor*, *Static Capacitor*, *Resistan*, semua peralatan pendukung tersebut terpasang di *switchyard*.

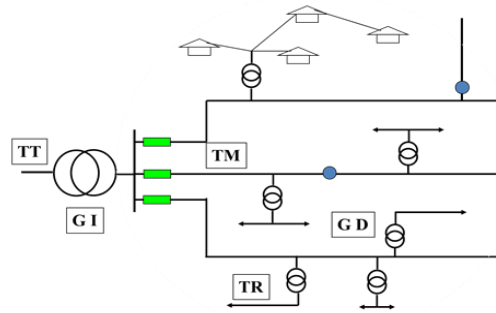
2.2.5 Sistem Distribusi

Jaringan setelah keluar dari Gardu Induk, disebut jaringan distribusi, dimana setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, tenaga listrik tersebut diturunkan tegangannya dalam gardu – gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220V[5]. Pada jaringan distribusi ini terdapat titik pertemuan antara dua kepentingan dengan persyaratan-persyaratan masing-masing. Pihak pelanggan membutuhkan listrik dengan mutu yang baik, sedangkan pihak perusahaan listrik dihadapkan pada masalah kemampuan dan kesanggupan jaringan distribusi. Namun sebenarnya kedua kepentingan tersebut tidak bertentangan, malahan mempunyai tujuan yang sama. Bagi pelanggan mutu tenaga listrik yang baik akan memberikan kepuasan sedangkan bagi perusahaan listrik menyediakan listrik dengan mutu dan keandalan dalam mendistribusikan berarti menekan kerugian-kerugian jaringan sehingga akan beroperasi secara optimal.

Jaringan distribusi juga tergantung pada mutu dan keandalan jaringan transmisi. Mutu dan keandalan yang baik dari sisi transmisi akan memberikan dampak yang baik pula di sisi jaringan distribusi. Oleh karena itu, dalam mengoperasikan jaringan, kedua sisi ini harus selalu berkoordinasi agar penyaluran tenaga listrik dapat berjalan dengan baik.

Suatu jaringan distribusi dinyatakan sebagai jaringan yang baik apabila memenuhi kriteria-kriteria tertentu dalam kelangsungan pendistribusian, kualitas tegangan dan frekuensi. Pada keadaan normal, masalah yang muncul di jaringan distribusi adalah faktor daya rendah dan penurunan tegangan jaringan, sedangkan pada keadaan gangguan adalah manuver beban untuk pemadaman. Gangguan sedapat mungkin harus dicegah, atau setelah terjadi gangguan diatasi dalam waktu yang singkat.

Perkembangan jaringan distribusi yang semakin besar dan kompleks dengan pengendalian dan supervisi yang dilaksanakan secara manual membutuhkan SDM yang cukup besar untuk pelaksanaannya agar persyaratan mutu dan keandalannya dapat dipenuhi. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berada paling dekat dengan sisi beban/pelanggan dan bertugas menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari sisi hulu yaitu pembangkit ke pusat-pusat beban, dalam hal ini gardu distribusi dan pelanggan. Berikut ini adalah gambaran sistem distribusi.



Gambar 2. 7 Sistem Distribusi

Gambar 2.7 adalah komponen-komponen distribusi yang membentuk sistem distribusi yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik dari GI ke gardu distribusi. Pada gardu distribusi tegangan diturunkan oleh trafo distribusi. Setelah diturunkan tegangannya, energi listrik didistribusikan ke rumah-rumah.

2.2.6 Besaran Listrik

Listrik merupakan suatu muatan yang terdiri dari muatan positif dan muatan negatif, dimana sebuah benda akan dikatakan memiliki energi listrik apabila suatu benda itu mempunyai perbedaan jumlah muatan. Muatan yang dapat berpindah adalah muatan negatif, berpindahannya muatan negatif ini disebabkan oleh bermacam gaya atau energi, perpindahan energi inilah yang disebut dengan energi listrik, karena suatu benda akan senantiasa mempertahankan keadaan netral atau seimbang antara muatan positif dan muatan negatif. Kualitas daya listrik harus memenuhi standart frekuensi yang stabil, tegangan yang stabil serta tingkat keandalan sistem[1]. Listrik memiliki besaran - besaran diantaranya sebagai berikut :

a) Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensial listriknya, suatu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi. Secara definisi tegangan listrik menyebabkan obyek bermuatan listrik negatif tertarik dari tempat bertegangan rendah menuju tempat bertegangan lebih tinggi. Sehingga arah arus listrik konvensional didalam suatu konduktor mengalir dari tegangan tinggi menuju tegangan rendah.

Secara sederhana, sirkuit elektronik dapat dianalogikan sebagai aliran air dalam pipa yang didorong oleh pompa air. Perbedaan tekanan air dari satu titik dekat pompa dan titik lain di ujung pipa dapat dianalogikan dengan potensial tegangan listrik. Jika pompa mulai bekerja tekanan air dalam pipa pada titik di dekat pompa menjadi lebih tinggi sehingga air dalam pipa mulai terdorong dari satu titik (dekat

pompa) menuju titik yang lain (ujung pipa). Pergerakan air ini (yang disebabkan perbedaan tekanan) mampu melakukan usaha, misalnya memutar turbin. Begitu pula dalam sirkuit elektronik, perbedaan potensial tegangan (misalnya dihasilkan oleh baterai) mampu melakukan usaha pula, misalnya memutar motor listrik. Jika dalam analogi, air pompa tidak bekerja, maka tidak ada perbedaan tekanan dan air tidak mengalir. Begitu pula untuk sirkuit elektronik, jika baterai, misalnya, habis, maka tidak ada perbedaan potensial tegangan listrik dan motor listrik tidak akan berputar.

b) Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang disebabkan dari pergerakan elektron-elektron, mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik atau Ampere. Contoh arus listrik dalam kehidupan sehari-hari berkisar dari yang sangat lemah dalam satuan mikroAmpere (μA) seperti di dalam jaringan tubuh hingga arus yang sangat kuat 1-200 kiloAmpere (kA) seperti yang terjadi pada petir. Dalam kebanyakan sirkuit arus searah dapat diasumsikan resistansi terhadap arus listrik adalah konstan, sehingga besar arus yang mengalir dalam sirkuit bergantung pada voltase dan resistansi sesuai dengan hukum Ohm.

c) Frekuensi

Frekuensi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kemunculan suatu kejadian yang berulang pada suatu jangka waktu tertentu. Frekuensi didefinisikan sebagai *jumlah periode gelombang yang terjadi selama 1 detik*. Mengacu pada SI, satuan frekuensi adalah Hertz yaitu jumlah siklus per detik. Frekuensi merupakan parameter dari keseimbangan antara beban pembangkitan serta beban konsumen[6].

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi pelanggan dengan frekuensi yang praktis konstan. Deviasi frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi pelayanan yang diizinkan. Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nilai frekuensi dalam sistem, sedangkan beban sistem yang berupa daya aktif maupun daya rektif selalu berubah sepanjang waktu. Untuk mempertahankan frekuensi dalam batas toleransi pelayanan yang diizinkan maka penyediaan pembangkitan daya aktif dalam sistem harus disesuaikan dengan kebutuhan pelanggan atas daya aktif. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur besarnya kopel penggerak generator.

Turbin sebagai mover juga perlu diamankan terhadap peristiwa penurunan frekuensi, sebab turbin mempunyai frekuensi resonansi di bawah frekuensi nominalnya, yaitu sekitar sedikit di bawah 48 Hz untuk frekuensi nominal 50 Hz. Pengoperasian pada frekuensi resonansi sangat membahayakan daun turbin (turbin blade) setelah gangguan, jadi harus dihindari. Setting relay untuk program UFR (*Under Frequency Relay*) pada beban penyulang harus lebih tinggi dari setting relay UFR di generator.

2.2.7 Perilaku Sistem Saat Terjadinya Hilang Daya Pembangkit

Saat sebuah sistem tenaga listrik mengalami perubahan pada beban sistem yang cukup besar secara tiba – tiba, maupun ketika sistem proteksi bekerja dengan memutus jalur supply pembangkit yang mana akan memicu terjadinya gangguan yang lebih besar. Ketika sistem tenaga listrik beroperasi pada frekuensi normal, jumlah input daya mekanis dari penggerak mula ke generator sama dengan jumlah beban yang tersambung, ditambah dengan losses pada sistem tersebut. Jika keseimbangan ini berubah, maka akan berakibat pada perubahan frekuensi sistem. Frekuensi sistem berbanding lurus dengan putaran rotor. Saat sistem mengalami kekurangan input daya mekanis, putaran rotor akan melambat untuk menyuplai energi ke sistem. Sebaliknya, jika sistem kelebihan daya mekanis, putaran rotor akan semakin cepat untuk menyerap energi dari sistem[7].

Governor pada unit pembangkit akan merasakan sedikit perubahan kecepatan putar yang diakibatkan oleh perubahan beban. Governor ini akan mengatur input daya mekanis yang masuk ke unit pembangkit untuk menjaga frekuensi sistem agar tetap pada batasan operasi normal. Perubahan besar kapasitas pembangkitan secara tiba-tiba karena tripnya salah satu unit pembangkit atau saluran transmisi, dapat mengakibatkan ketidak seimbangan antara pembangkitan dan beban yang cukup signifikan, yang berakibat pula pada perubahan frekuensi sistem yang cepat. Keterbatasan respon dan kapasitas unit-unit pembangkit dalam menanggapi perubahan frekuensi ini, dapat mengakibatkan sistem *collapse*. Untuk itu, dibutuhkan pelepasan beban yang cepat, selektif, dan temporer, agar sistem dapat terhindar dari kondisi padam total atau *blackout*. Sehingga waktu pemulihan sistem ke kondisi normal dapat dilakukan secara cepat.

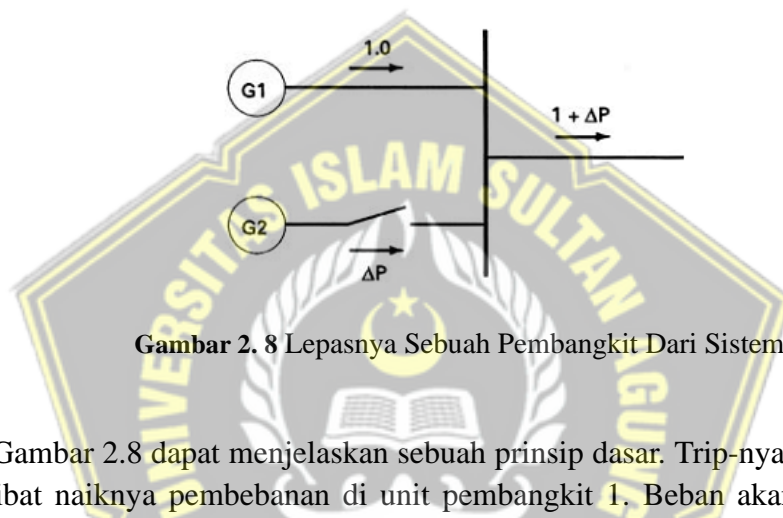
Sebuah sistem yang seimbang adalah bila daya dan rugi-rugi yang diserap sistem sama dengan daya pembangkitan yang dihasilkan. Bila ini terjadi, maka frekuensi akan stabil pada frekuensi nominal sistem. Bila daya yang dibangkitkan lebih besar dari daya yang diserap, frekuensi listrik akan naik. Sebaliknya, bila daya yang dibangkitkan lebih sedikit dari daya yang diserap, frekuensi listrik akan turun.

Bila terjadi penurunan frekuensi, dispatcher meminta operator unit-unit pembangkit untuk meningkatkan daya yang dibangkitkannya. Bila daya yang dibangkitkan oleh unit-unit pembangkit sudah mencapai kapasitas maksimal, untuk menjaga agar sistem tidak runtuh terpaksa dilakukan pengurangan beban. Hal inilah yang menyebabkan pengaturan frekuensi memiliki kaitan erat dengan pelepasan beban. Pelepasan beban yang terjadi karena adanya penurunan frekuensi pada sistem atau yang dapat disebut *Under Frequency Load Shedding* dibutuhkan ketika respon cadangan pembangkit tidak dapat mengakomodir perubahan supply pada sistem sehingga tidak mampu mempertahankan frekuensi pada rentang nominalnya[8].

Namun pengurangan beban tidak hanya dilakukan jika terjadi penurunan frekuensi saja. Pengurangan beban juga dilakukan bila terjadi kecepatan perubahan frekuensi yang tinggi. Selain karena kekurangan daya yang dibangkitkan, penurunan

frekuensi dapat pula disebabkan adanya gangguan pada saluran transmisi atau gangguan trip pembangkit. Jika salah satu pembangkit trip, putaran generator-generator yang masih bertahan akan melambat untuk menutupi kekurangan daya input.

Ketika terjadi penurunan frekuensi, pengalaman menunjukkan bahwa beban juga menurun. Perbandingan yang sering digunakan adalah jika terjadi penurunan frekuensi sebesar 1 % maka beban akan turun juga sebesar 2 %. Penurunan frekuensi sebesar 1 % mewakili 0,5 Hz. Penurunan beban berlaku untuk beban keseluruhan sistem, untuk contoh di atas penurunan bebannya adalah $0,02 \times 1200 = 24$ MW, mengurangi jumlah kekurangan daya pembangkitan menjadi $(200-24) = 176$ MW. Sehingga pada saat frekuensi telah turun sebesar 1%, pesat penurunan frekuensinya pun melambat



Gambar 2. 8 Lepasnya Sebuah Pembangkit Dari Sistem

Gambar 2.8 dapat menjelaskan sebuah prinsip dasar. Trip-nya unit pembangkit 2 berakibat naiknya pembebanan di unit pembangkit 1. Beban akan terus tersuplai, tetapi putaran rotor dan frekuensi akan berkurang kecepatannya. Jumlah besar overload MW pada pembangkit yang masih beroperasi, sama dengan besar daya unit pembangkit yang trip. Pengurangan beban (ΔL) yang dipengaruhi oleh pengurangan frekuensi berhubungan dengan total beban seluruhnya $(1+\Delta P)$. Beban baru seiring dengan penurunan frekuensi adalah 1, yaitu beban sebenarnya dari G1. Sehingga didapatkan formula pengurangan beban sebagai berikut:

$$\Delta L = \frac{\Delta P}{(1+\Delta P)}\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan frekuensi operasi stabil baru sebagai berikut:

$$f_f = f_o(1 - \% \Delta f) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan melakukan substitusi 2.4 dan 2.5 ke persamaan 2.6, dapat dihasilkan persamaan frekuensi operasi stabil baru sebagai berikut:

$$f_f = f_o \left(1 - \frac{\Delta P}{d(1+\Delta P)} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

f_f = frekuensi stabil yang baru

f_o = frekuensi nominal

ΔP = persen penurunan pembebanan (berdasarkan pembebanan pembangkit yang masih beroperasi)

d = perbandingan antara perubahan beban terhadap perubahan frekuensi

Berdasarkan gambar 2.3 di atas, daya pembangkitan sebelum trip (P_o) adalah:

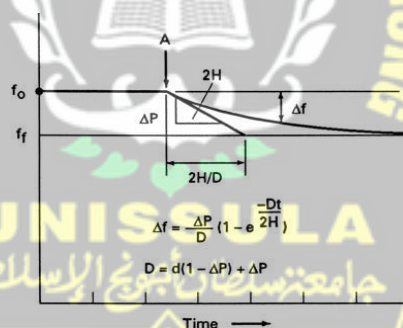
$$P_o = 1 + \Delta P \dots\dots\dots(2.4)$$

Dari persamaan 2.3 yang disubstitusi ke persamaan 2.2, didapatkan persamaan hubungan antara perubahan daya terhadap perubahan frekuensi sebagai berikut.

$$f_f = f_o - f_o \left(\frac{\Delta P}{d P_o} \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

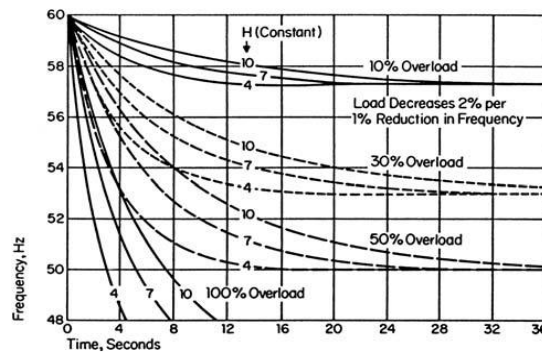
$$\frac{\Delta f}{f_o} = - \left(\frac{\Delta P}{d P_o} \right) \text{ atau } \frac{\Delta P}{P_o} = -d \frac{\Delta f}{f_o} \dots\dots\dots(2.6)$$

Nilai d dapat bervariasi dari 0,5 hingga 7, tergantung dari komposisi beban yang ada, namun pada umumnya sistem memiliki $d = 2$ (yakni, 2% penurunan beban dari setiap 1% penurunan frekuensi). Nilai eksak d untuk sebuah sistem dapat ditentukan hanya dengan mengamati variasi beban dengan frekuensi pada sistem tersebut.



Gambar 2. 9 Grafik Penurunan Frekuensi

Gambar 2.9 menunjukkan grafik penurunan frekuensi yang diakibatkan oleh hilangnya daya pembangkitan. Perbandingan jumlah daya yang hilang (ΔP) dengan penurunan frekuensi (Δf) akan menghasilkan IKS (Indeks Kekuatan Sistem). Dengan mengetahui Indeks Kekuatan Sistem, akan mempermudah *Dispatcher* Sistem untuk mengetahui berapa MW per satu Hz, sehingga dapat merencanakan pengoperasian pembangkit untuk mengikuti beban yang fluktuatif. Sedangkan gambar 2.10 menggambarkan watak dari frekuensi sistem (untuk contoh ini menggunakan frekuensi nominal 60 Hz) untuk beberapa kombinasi dari konstanta inersia dan persen overload dengan konstanta $d = 2$.



Gambar 2. 10 Grafik Variasi Penurunan Frekuensi Berdasarkan Variasi *Overload* dan Momen *Inersia* Sistem

Respon governor akan bekerja untuk mengoreksi kekurangan (atau kelebihan) kecepatan / frekuensi sistem, dengan cara mengurangi atau menambah (jika masih tersedia cadangan putar) input daya mekanik dari penggerak mula. Namun, ada tunda waktu dalam penyesuaian ke kondisi stabil yang berkaitan dengan boiler, aliran air, dan lain-lain. Untuk mencegah jatuhnya frekuensi sampai melampaui batas aman, maka hal yang dapat dilakukan adalah melepas beban secara cepat dan selektif (CB trip untuk memisah beban dari sumber daya).

2.2.8 Under Frequency

Fenomena Under Frekuensi terjadi karena sistem kekurangan suplai pembangkit sehingga frekuensi dibawah 50 Hz[9], untuk dapat mengembalikan frekuensi kembali normal terdapat beberapa tahapan pengamanan under frekuensi:

- PFC (Primary Frequency Control)*
Respon alami pembangkit untuk dapat menahan laju perubahan frekuensi dan memberikan respon kenaikan beban pembangkit
- Pelepasan manual Pelepasan manual untuk beban (*Manual Load shedding*) dilakukan ketika frekuensi steady state pada frekuensi dibawah 49.5 Hz dan diatas setting pick up UFR.
- Pelepasan Menggunakan Proteksi (UFR: Under Frequency Relay)

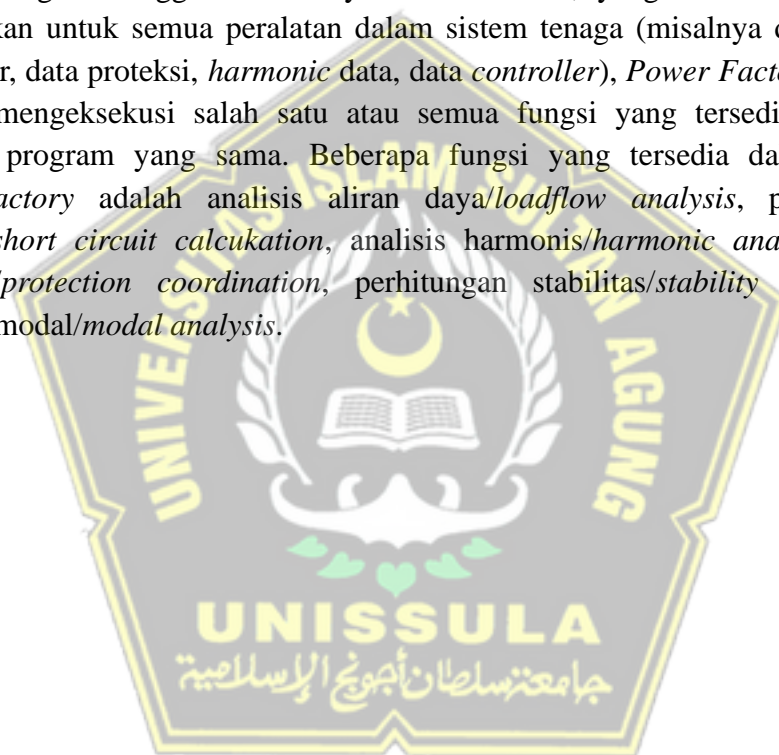
Skema pelepasan beban secara otomatis dengan sensing frekuensi under, besar kuota dan tahapan pelepasan beban perlu dipertimbangkan agar jatuh frekuensi tidak terlalu rendah yang akan membahayakan sistem *Under Frequency Load Shedding* (UFLS) merupakan pelepasan beban yang diperlukan karena terjadi penurunan frekuensi sistem agar frekuensi kembali ke batas operasi normal. UFLS dalam penerapannya menggunakan *Under Frequency Relay* (UFR) agar dapat membantu dispatcher dalam pengaturan frekuensi sistem akibat lepasnya suplai pembangkit yang berdampak frekuensi turun dibawah batas normal operasi. UFLS merupakan pelepasan beban yang diperlukan karena terjadi penurunan frekuensi sistem agar frekuensi kembali ke batas operasi normal UFLS dalam penerapannya menggunakan *Under Frequency Relay* (UFR) agar dapat membantu dispatcher dalam pengaturan

frekuensi sistem akibat lepasnya suplai pembangkit yang berdampak frekuensi turun dibawah batas normal operasi.

2.2.9 Software DIgSILENT Power Factory

Program perhitungan *DIgSILENT Power Factory*, adalah *software* rekayasa yang berguna untuk analisis industri, utilitas, dan analisis sistem tenaga listrik. Perangkat lunak ini telah dirancang sebagai paket perangkat lunak canggih yang terintegrasi dan interaktif yang didedikasikan untuk sistem tenaga listrik dan analisis kontrol dalam rangka mencapai tujuan utama perencanaan dan optimasi operasi. *DIgSILENT* singkatan dari *DIGital Simulation and Electrical NeTwork calculation program*.

Dengan menggunakan hanya satu database, yang berisi semua data yang dibutuhkan untuk semua peralatan dalam sistem tenaga (misalnya data busbar, data generator, data proteksi, *harmonic* data, data *controller*), *Power Factory* dapat dengan mudah mengeksekusi salah satu atau semua fungsi yang tersedia, semua dalam lingkup program yang sama. Beberapa fungsi yang tersedia dalam *DIgSILENT PowerFactory* adalah analisis aliran daya/*loadflow analysis*, perhitungan arus pendek/*short circuit calcukation*, analisis harmonis/*harmonic analysis*, koordinasi proteksi/*protection coordination*, perhitungan stabilitas/*stability calculation* dan analisis modal/*modal analysis*.



BAB III

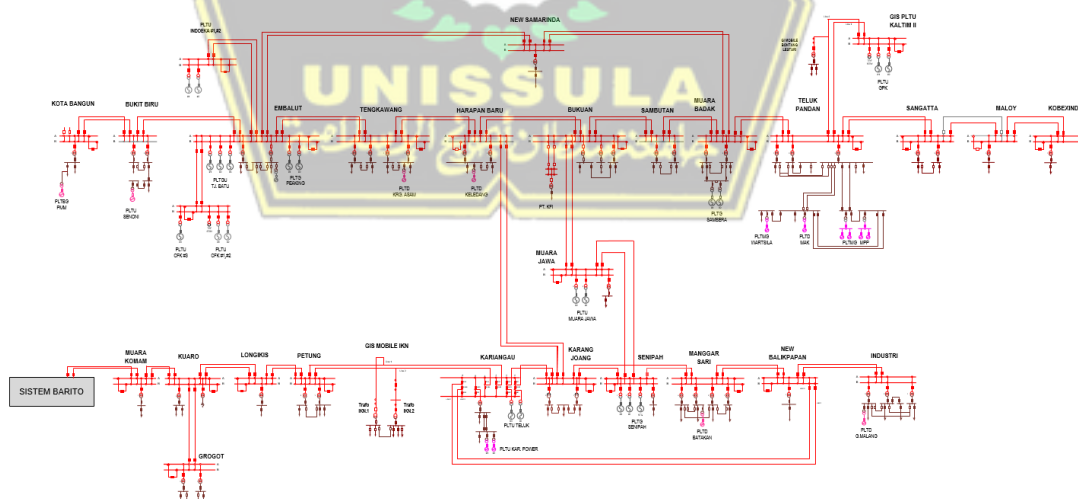
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

3.1.1. Perancangan Sistem

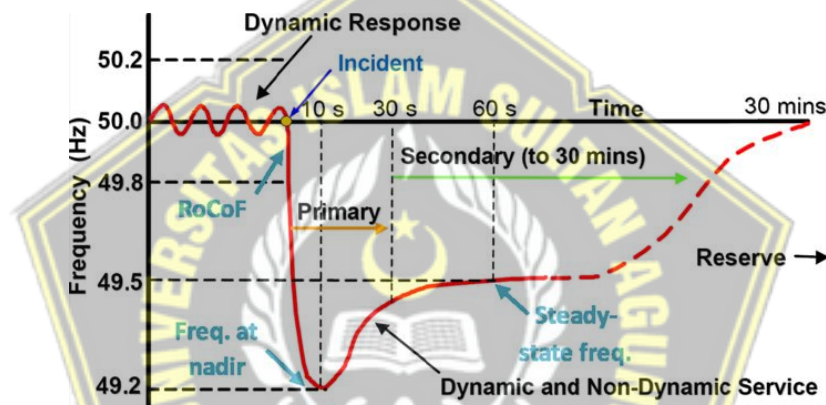
Strategi *Load Shedding* dan pembentukan *Island Operation* dilakukan secara otomatis oleh UFR (*Under Frequency Relay*) yang sudah disetting untuk bekerja bila terjadi gangguan pada sistem yang berakibat frekuensi sistem turun dengan sangat cepat, sehingga *Dispatcher* sistem tidak memungkinkan untuk melakukan pelepasan beban secara manual. Sama halnya dengan tripnya transmisi atau trafo daya yang menyebabkan sistem kehilangan beban untuk dipasok, sehingga berakibat naiknya frekuensi secara tiba – tiba, pada umumnya kejadian seperti ini dapat dikendalikan oleh *Dispatcher* sistem. Namun untuk mengantisipasi kenaikan frekuensi sistem yang tidak bisa dikendalikan oleh *Dispatcher* sistem, maka diperlukan pemasangan OFR (*Over Frequency Relay*) pada beberapa pembangkit.

Sehingga strategi *Load Shedding* dan pembentukan *Island Operation* yang dibahas di sini adalah ketika sistem kehilangan pasokan daya besar yang menyebabkan turunnya frekuensi secara tiba – tiba , maka secara otomatis UFR akan melepas beban penyalang sesuai dengan tahapan *setting* nya dan ketika sistem kehilangan beban yang akan dipasok sehingga menyebabkan naiknya frekuensi secara tiba – tiba, maka secara otomatis OFR akan melepas pembangkit yang sudah ditentukan.



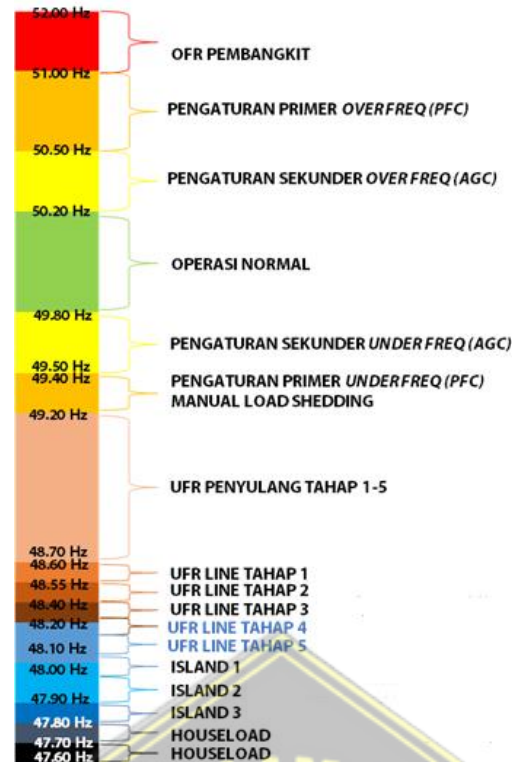
Gambar 3. 1 Subsistem Kaltimra

Frekuensi Listrik yang diluar batas nominal dapat memiliki berbagai akibat yakni kerusakan pada peralatan elektronik dimana peralatan elektronik yang bersifat sensitif terhadap perubahan frekuensi seperti komputer, televisi peralatan elektronik rumah tangga dapat menyebabkan komponen elektronik didalam peralatan menjadi *overheat* atau beroperasi diluar spesifikasi yang telah ditentukan. Kerusakan yang terjadi akibat beroperasinya frekuensi diluar batas nominal dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang menunjang penyaluran tenaga listrik seperti transformator dan jaringan transmisi, dimana hal ini dapat memicu terjadinya gangguan pada sistem hingga mengakibatkan sistem *black out*. Selain itu frekuensi listrik yang tidak stabil atau dilua batas normal dapat mengganggu aktivitas proses produksi pada konsumen tegangan tinggi yang ada pada sistem. Dalam situasi ini, sistem proteksi atau defense scheme yang telah didesain akan mengambil tindakan untuk menjaga stabilitas sistem dengan memutuskan sirkuit yang mengalami overload atau melepas beban hingga melepas pembangkit guna mengembalikan frekuensi ke rentang nominal.



Gambar 3. 3 Pengendalian Frekuensi Sistem

Dari gambar 3.3 pengendalian frekuensi sistem dapat terlihat bahwa saat terjadi sebuah gangguan Dimana frekuensi akan mengalami penurunan hingga titik terendah maka akan dilakukannya pengaturan primer frekuensi atau biasa disebut *Primary Frequency Control* (PFC) hingga frekuensi kembali pada nominal steady state nya, dimana pada pengendalian primernya aksi ini dicapai melalui aksi governor unit pembangkit (*Free Governor*). Apabila frekuensi sudah kembali pada titik steady state-nya maka selanjutnya akan dilakukan pengendalian sekunder frekuensi (*Secondary Frequency Control*) untuk mengembalikan frekuensi ke 50 Hz dengan menggunakan AGC (*Automatic Generation Control*) yang dapat dicapai dengan LFC (*Load Frequency Control*) dimana pembangkit akan naik sesuai dengan kalkulasi kebutuhan sistem yang dilakukan oleh proses otomasi di SCADA dan set point yang telah diberikan



Gambar 3. 4 Tingkat Frekuensi Sistem

3.1.3. Langkah – Langkah Menentukan Beban *Load Sheding*

Beberapa prosedur dan kriteria harus diperhatikan ketika mendesain skema *load sheding* untuk sebuah sistem, yaitu:

1. Kondisi overload maksimum atau suplai beban terbesar yang harus diantisipasi.
2. Jumlah tahapan *load sheding*.
3. Besar beban yang dilepas untuk tiap tahapan *load sheding*.
4. Prioritas beban yang akan dilakukan *load sheding*.
5. Keseimbangan beban terhadap pembangkit *Base Load* yang tersedia.
6. Setting frekuensi tiap tahapan *load sheding*.
7. Tunda waktu / *time delay* relay.
8. Lokasi pemasangan relay frekuensi.

3.1.4. Kondisi *Overload* Maksimum yang Akan Diantisipasi

Under frequency relay (UFR) harus mampu melepas sejumlah beban sama dengan daya hilang maksimum karena terjadinya gangguan tersebut. Pada kondisi terburuk, akan lebih baik melepas seluruh beban yang tersambung untuk menjaga agar unit pembangkit tetap sinkron dengan sistem, dari pada membiarkan sistem runtuh dengan beban yang masih tersambung dengan sistem. Pertimbangannya adalah waktu yang dibutuhkan untuk memasukkan beban kembali lebih singkat daripada harus membangun sistem dari kondisi padam total (*blackout*).

Faktor jumlah pengurangan beban (*Load Sheding*) juga harus dipertimbangkan, karena faktor ini akan membantu mengurangi kekurangan suplai daya ke sistem yang

diakibatkan oleh gangguan pembangkit maupun transmisi. Hal tersebut dikarenakan cadangan putar atau tambahan daya dari pembangkit yang masih bertahan tidak dapat secara cepat memberikan tambahan dayanya ke sistem sesaat setelah terjadi gangguan, kekurangan suplai daya tersebut dapat membuat sistem tidak seimbang, sehingga membuat frekuensi sistem juga tidak dapat kembali ke kondisi normal (49.50 Hz – 50.50 Hz) secara cepat pula. Frekuensi sistem yang tidak dapat kembali ke kondisi normal (49.50 Hz – 50.50 Hz) setelah terjadi gangguan dan jika dibiarkan dalam waktu tertentu akan berbahaya untuk unit-unit pembangkit yang tidak dapat bertahan jika dioperasikan pada frekuensi rendah.

Pada Sistem Sistem Interkoneksi Kalimantan terdapat pusat – pusat pembangkit besar dan aliran daya besar yang menyuplai daya ke Sistem Interkoneksi Kalimantan, pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Suplai Beban Terbesar

No.	Pembangkit	Sirkuit	Dampak
1	PLTU SLK Unit 1&2	-	Sistem kehilangan supply 200 MW
2	PLTU GPK Unit 1&2	-	Sistem kehilangan supply 200 MW
3	PLTU TPI Unit 1&2	-	Sistem kehilangan supply 200 MW
4	PLTU AsamAsam Unit 5&6	-	Sistem kehilangan supply 200 MW
5	PLTMG Bangkanai	-	Sistem kehilangan supply 160 MW
6	PLTU Teluk Balikpapan	-	Sistem kehilangan supply 180 MW
7	PLTU Indoeka Unit 1&2	-	Sistem kehilangan supply 200 MW
8	-	Tanjung - Komam	Sistem terbagi menjadi 2 subsistem Kalselteng dan Kaltimra

3.1.5. Jumlah Tahapan *Load Shedding*

Skema *load shedding* yang paling sederhana adalah dengan melepas sejumlah beban secara bersamaan ketika beberapa relay frekuensi mendeteksi penurunan frekuensi hingga batas tertentu. Walaupun cara ini juga akan mengantisipasi turunnya frekuensi, namun yang sering terjadi adalah pelepasan beban yang berlebih dari yang dibutuhkan untuk sekedar menaikkan frekuensi ke kondisi aman.

Perbaikan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan dua grup relay frekuensi yang diseting pada dua ambang frekuensi yang berbeda. Relay yang diset lebih tinggi akan trip lebih dahulu dan melepas setengah dari beban yang telah disiapkan untuk dilepas pada kondisi gangguan terburuk. Untuk kondisi defisit daya yang lebih besar, frekuensi akan terus turun meskipun telah dilakukan pelepasan beban tahap pertama, meskipun dengan penurunan yang mulai lambat. Jika penurunan frekuensi ini sampai

menyentuh seting relay frekuensi yang diset dengan ambang frekuensi lebih rendah, maka relay ini akan melepaskan setengah beban yang tersisa.

Jumlah tahap pada skema pelepasan beban ini dapat ditambah sampai tak terhingga. Dengan jumlah tahap pelepasan beban yang semakin banyak, maka sistem akan dapat melepas beban secara perlahan sampai penurunan frekuensi berhenti, dan akan meminimalkan pelepasan beban berlebih. Dalam simulasi ini kita menggunakan 5 tahapan *Load Shedding*.

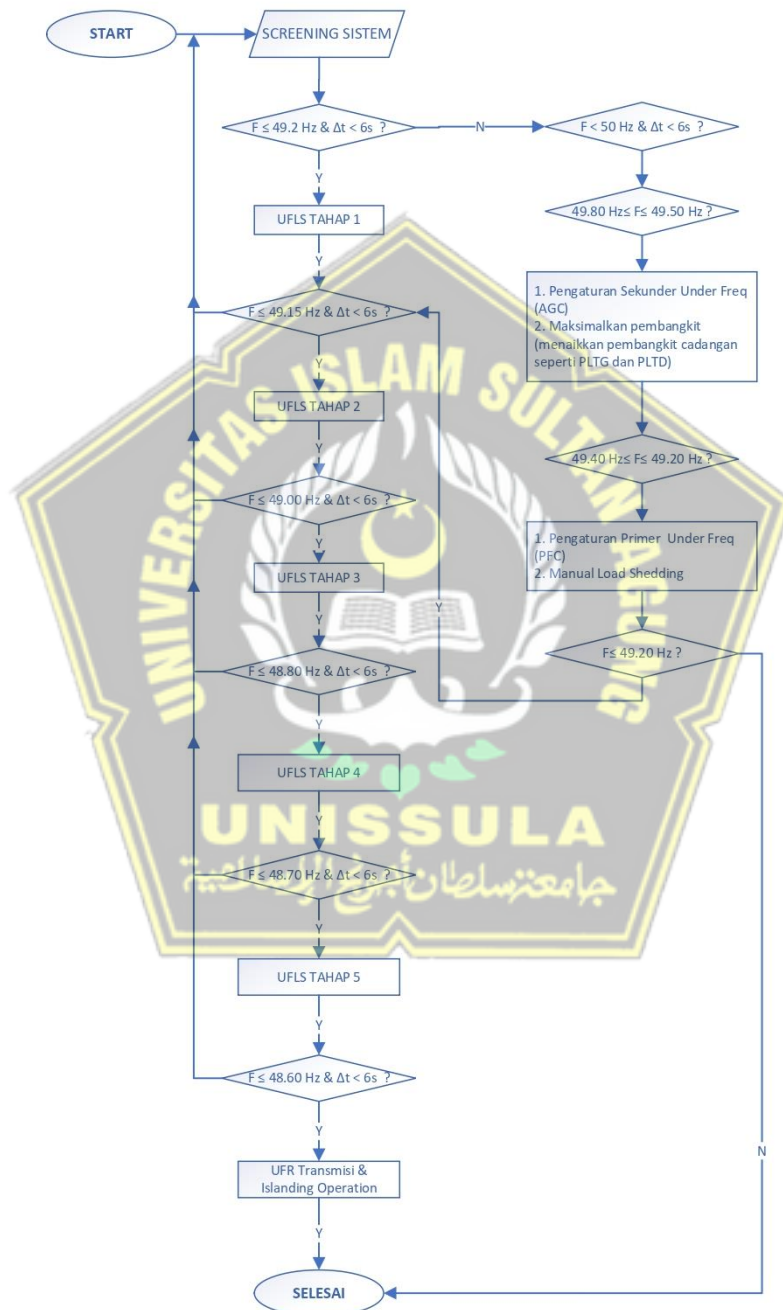
Pelepasan beban pada tahap 1 sampai dengan 5 ini dilakukan oleh UFR dengan membuka beberapa PMT Penyulang 20 kV. Penyulang-penyulang yang masuk pada tahapan UFR ini ditentukan dengan memperhatikan beberapa faktor, antara lain:

1. Jumlah beban penyulang yang dimasukkan ke tahapan harus mendekati alokasi besar beban yang harus dilepas pada tiap tahapan.
2. Proyeksi untuk keseimbangan beban island yang mungkin terbentuk jika tahapan UFR gagal mengembalikan frekuensi sistem ke kondisi normal.
3. Harus memperhatikan skala prioritas pada penyulang-penyulang tertentu.

Tabel 3. 2 Skema UFLS Sistem Interkoneksi Kalimantan

UFR	Frekuensi (Hz)	Skema Eksisting
UFR Penyulang	49.20	UFR Penyulang Tahap 1
	49.15	UFR Penyulang Tahap 2
	49.00	UFR Penyulang Tahap 3
	48.80	UFR Penyulang Tahap 4
	48.70	UFR Penyulang Tahap 5
UFR Transmisi	48.60	UFR Transmisi Tahap 1 (Lepas Line Sampit – Bagendang, Line Sampit – PangkalanBun, Line Sampit - Pangkalan Banteng Line Embalut – Bukit Biru & Trafo BPP
	48.55 & 48.50	UFR Transmisi Tahap 2 (Lepas Line Batulicin – ITP & Line Batulicin - SILO)
	48.40	UFR Transmisi Tahap 3 (Lepas Tanjung – Komam)
	48.20	UFR Transmisi Tahap 4 Lepas Line 1 & 2 Petung – Longikis , Lepas Line 1 & 2 Satui – Batulicin , Lepas Line Kasongan – Parenggean, Kasongan – Sudan, Lepas TD #1 Bati - Bati
	48.00	Island tahap 1 Island Kalsel –

		Kalteng & Island Balikpapan - Sambon
47.90		Island Tahap 2 (Island PLTU SLK & PLTU Pulpis)
47.80		Island Tahap 3 (Island Aasam - Island TPI)



Gambar 3. 5 Flowchart Skema UFLS Sistem Interkoneksi Kalimantan

3.1.6. Besar Beban yang Dilepas Setiap Tahapan

Jika memungkinkan, besar beban yang dilepas setiap tahap sebaiknya berdasarkan persentase besar daya yang hilang. Saat belajar tentang konfigurasi sistem, atau studi stabilitas sistem, akan diketahui bahwa ada beberapa unit pembangkit atau jaringan transmisi yang memiliki probabilitas lepas sistem yang relatif besar. Berdasarkan hal itulah, besar beban yang dilepas tiap tahap pelepasan beban dapat ditentukan. Penentuan besar pelepasan beban tiap tahap dapat dilihat pada contoh berikut.

Untuk menerapkan skema pelepasan beban pada jaringan distribusi, sebuah sistem memerlukan banyak relay frekuensi yang dipasang tersebar di sistem tersebut. Dengan menggunakan banyak relay, dapat diterapkan banyak tahap kecil untuk lebih menyeimbangkan antara kekurangan daya pembangkitan dan beban yang dilepas.

3.1.7. Prioritas Beban *Load Shedding*

Pelepasan beban (*Load Shedding*) tidak dapat dilakukan kepada semua jenis beban atau konsumen, beberapa jenis beban atau konsumen memiliki prioritas pertama untuk mendapatkan suplai listrik. Jenis beban atau tempat seperti *Control Center*, Rumah Sakit, Kantor Pemerintahan, Kantor Aparat Keamanan, dan Tempat Ibadah merupakan jenis beban prioritas utama untuk mendapatkan suplai listrik, maka dari itu tempat – tempat yang memiliki prioritas utama untuk tidak dilakukan pelepasan beban untuk membantu kurangnya suplai daya.

Pelepasan beban dapat dilakukan atau ditempatkan pada jenis beban yang bukan prioritas utama dan jauh dari perkotaan atau pusat pemerintahan. Beban yang mendapatkan setting tahapan *Load Shedding* juga akan digilir agar tidak terjadi pemadaman pada satu tempat secara terus menerus, namun penggiliran tersebut tetap memperhatikan besar beban dan keseimbangan beban.

3.1.8. Keseimbangan Beban Terhadap Pembangkit *Base Load*

Lokasi pelepasan beban (*Load Shedding*) tidak dapat ditentukan sembarang tempat, pelepasan beban juga harus memperhatikan keseimbangan beban dan suplai daya dari pembangkit terdekat jika terjadi gangguan. Hal itu untuk memungkinkan bila terjadinya gangguan pada jaringan transmisi *backbone* atau satu satunya jaringan transmisi yang dilalui oleh suplai daya ke suatu tempat atau kota, supaya tempat tersebut dapat bertahan membentuk subsistem dengan pembangkit yang terdapat pada subsistem tersebut

Pada strategi *Load Shedding* ini sudah direncanakan lokasi – lokasi yang akan dilakukan pelepasan beban dengan mempertimbangkan keseimbangan beban setelah terjadinya gangguan. Keseimbangan beban yang dibentuk dapat dilihat tabel 3.3 Keseimbangan Beban.

Tabel 3. 3 Load Shedding UFR Penyulang Sub Sistem Kalselteng

Kuota Island / Lepas Transmisi	Frekuensi Lepas	Gardu Induk	Target				Keterangan
			Beban (MW)	Persentase UFR Penyulang (%)	Beban Hilang saat UFR Distribusi (MW)	Sisa Beban / Kuota Island (MW)	
Lepas Kalteng	48.60 Hz	Bagendang, Pangkalanbun, Pangkalan Banteng, Nangabulik, Sukamara, Kuala Pembuang	69.1	12.30 Pbun, Pbanteng, max 20%	8.5	60.6	Alokasi beban kalteng untuk mengantisipasi terjadinya overvoltage dan alokasi lepas transmisi agar tidak terlalu kecil (Load Shedding max 20%)
Lepas Sampit, Sudan, Parenggean	48.20 Hz	Sampit, Sudan, Parenggean	43.5	0.00	0	43.5	Alokasi beban untuk pelepasan di frekuensi 48.2 Hz berdasarkan IKS tersisa dan mitigasi tegangan tinggi di Kalteng (Load Shedding untuk Sampit, Sudan, Parenggean nihil)
Island PLTU Pulang Pisau & PLTU SLK	48.0 Hz	Sebar, Trisakti, Pulang Pisau, Palangkaraya, Mintin, Sebangau, Selat, Kasongan, SKS	171.05	31.22	53.4	117.65	Kuota beban island PLTU Pulang Pisau & SLK (Load Shedding 35%)
Lepas GIS Ulin	47.80 Hz	GIS Ulin	49.12	50.08	24.6	24.52	Kuota beban lepas GIS Ulin (Load Shedding 50%)
Island PLTU TPI & PLTMG Bangkanai	47.80 Hz	Bangkanai, Puruk Cahu, Muara Teweh	37.97	0.00	0	146.58	Alokasi beban untuk island PLTMG Bangkanai dan TPI agar tidak overvoltage
		Tanjung, Barikin, Paringin, Amuntai, Rantau, Marabahan, Kayutangi, Sei Tabuk	174.01	37.58	65.4		Menjaga tegangan agar tidak terlalu over ataupun drop (Load Shedding 37-40%)
Island PLTU AsamAsam & PLTA PM Noor	47.8 Hz	AsamAsam, Bandara, Pelaihari, Cempaka, Batulicin, Aranio, Mantuil, Ulin 70, Bati-Bati, Satui, Pulau Laut, ITP	307	33.12	81.8	165.2	Kuota beban Island PLTU Asam Asam (Load Shedding 40-45%) kuota Load Shedding Satui, Batulicin, Pulau Laut Max 30%)
TOTAL			788.2		240.8	547.4	

Tabel 3. 4 Load Shedding UFR Penyulang Sub Sistem Kaltimra

Kuota Island / Lepas Transmisi	Frekuensi Lepas	Gardu Induk	Target				Keterangan
			Beban (MW)	Persentase UFR Penyulang (%)	Beban Hilang saat UFR Distribusi (MW)	Sisa Beban / Kuota Island (MW)	
Island Samarinda Bontang	48.55 Hz	Embalut, Tengkawang, Harapan Baru, Muara Badak, New Samarinda	192,80	18,62	35,90	156,90	Kuota Beban Island PLTU GPK, PLTG Sambera, PLTU Indoeka, PLTU CFK, PLTG Peaking
		Teluk Pandan, Sangatta	52,90	26,60			
Lepas Tenggarong	48.50 Hz	Bukit Biru, Kotabangun	45,10	27,05	12,20	32,90	Kuota Island GPK ketika N-2 Muara Badak – Teluk Pandan
Island Balikpapan	48.50 Hz	Petung, Kariangau, Karang Joang, Manggarsari, New Balikpapan, Industri Muara Jawa	205,70	30,18	62,10	143,60	Alokasi Lepas transmisi agar tidak terlalu kecil
Lepas Paser	48.20Hz	Longikis, Kuaro, Grogot, M. Komam	41,10	27,07	11,10	30,00	Kuota Beban Island PLTU Teluk Balikpapan, PLTU Muara Jawa, PLTG Senipah
Island PLTGU Senipah	47.00 Hz	Senipah	14,80	24,32	3,60	11,2	Kuota Beban Island PLTG senipah
TOTAL			552,4		139,00	413,40	

3.1.9. Setting Frekuensi

Setting frekuensi pada setiap tahap pelepasan beban tergantung pada rentang frekuensi operasi normal (49.5 Hz – 50.5 Hz). Setting frekuensi juga memperhatikan kecepatan operasi dan akurasi relay frekuensi, serta jumlah tahapan pelepasan beban. Setting frekuensi pada tahap pertama sebaiknya disetting sedikit di bawah batas bawah rentang operasi normal sistem, yaitu pada kisaran 0.1 Hz sampai 0.3 Hz di bawah rentang frekuensi normal sistem. Untuk semua jenis relay frekuensi, seting frekuensi sebaiknya dipilih secara tepat agar mengurangi terjadinya pelepasan beban karena gangguan kecil yang masih bisa diatasi oleh sistem itu sendiri.

Tabel 3. 5 Skema UFLS Penyulang Tahap 1

No	Tahap 1 (49.20 Hz)				
	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Lepas Beban LWBP (MW)	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	2,21	Mantuil	Barito

2	MTL09	2,12	1,71	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	0,69	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	1,40	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,60	1,60	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	0,78	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	1,62	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	2,81	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	0,09	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	1,50	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	2,28	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	0,22	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	2,34	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,90	1,87	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	2,62	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	5,46	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,60	1,60	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6,00	4,70	Industri	Mahakam
19	I09	3,80	2,60	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,50	1,20	Grogot	Mahakam
21	T09	7,10	6,40	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,80	3,60	Muara Badak	Mahakam
Total		58,32	44,71		

Tabel 3. 6 Skema UFLS Penyulang Tahap 2

No	Tahap 2 (49.15 Hz)				
	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Lepas Beban LWBP (MW)	Gardu Induk	Subsistem
1	CPK14	3,62	3,27	Cempaka	Barito
2	CPK19	3,59	3,12	Cempaka	Barito
3	KYT03	1,72	1,37	Kayutangi	Barito
4	BDR02	1,47	1,47	Bandara	Barito
5	BRB10	1,00	1,00	Barikin	Barito
6	AMT02	5,11	4,08	Amuntai	Barito
7	PRY06	1,15	0,87	Palangkaraya	Barito
8	KSG01	2,93	2,59	Kasongan	Barito
9	KSG03	3,93	3,24	Kasongan	Barito
10	PPS01	3,55	2,77	Pulang Pisau	Barito
11	PPS03	1,62	2,03	Pulang Pisau	Barito
12	STI02	2,43	2,06	Satui	Barito
13	STI03	1,15	1,09	Satui	Barito

14	BBT01	0,22	0,41	Bati Bati	Barito
15	BBT06	2,18	2,71	Bati Bati	Barito
16	GUL09	4,36	3,74	GIS Ulin	Barito
17	TRS03	4,55	3,99	Trisakti	Barito
18	NBA01	2,40	1,90	New Balikpapan	Mahakam
19	P04	4,10	3,80	Petung	Mahakam
20	LGS02	2,20	1,60	Longikis	Mahakam
21	SNP03	3,60	3,30	Senipah	Mahakam
22	H05	2,60	2,20	Harapan	Mahakam
23	E04	2,00	1,50	Embalut	Mahakam
24	R02	6,10	4,90	Bukit Biru	Mahakam
25	TLP02	5,40	4,30	Teluk Pandan	Mahakam
Total		68,58	58,81		

Tabel 3. 7 Skema UFLS Penyulang Tahap 3

No	Tahap 3 (49.00 Hz)				
	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Lepas Beban (LWBP)	Gardu Induk	Subsistem
1	PLH06	4,80	3,96	Pelaihari	Barito
2	TRS16	5,08	5,18	Trisakti	Barito
3	TRS09	5,11	4,55	Trisakti	Barito
4	KYT02	5,89	5,08	Kayutangi	Barito
5	KYT04	1,00	0,78	Kayutangi	Barito
6	KDG01	2,21	1,81	Kandangan	Barito
7	TPN06	1,06	1,06	Rantau	Barito
8	SLG02	1,88	1,88	Tanjung	Barito
9	SMT06	4,74	3,87	Sampit	Barito
10	PRY02	6,05	6,17	Palangkaraya	Barito
11	SPT03	2,56	3,46	Sampit	Barito
12	SPT04	1,50	1,31	Sampit	Barito
13	BGD02	2,37	2,18	Bagendang	Barito
14	PGN02	1,65	1,47	Parenggean	Barito
15	SLT04	4,74	3,99	Selat	Barito
16	ASM21	1,71	2,84	Asam Asam	Barito
17	BBT05	2,03	2,65	Bati Bati	Barito
18	GUL10	2,43	2,03	GIS Ulin	Barito
19	TRS10	3,12	2,81	Trisakti	Barito
20	J06	8,80	7,60	Karang Joang	Mahakam
21	I06	3,90	3,90	Industri	Mahakam
22	PTG07	2,20	1,70	Petung	Mahakam

23	KRO04	1,40	1,00	Kuaro	Mahakam
24	BYR01	3,90	3,20	New Samarinda	Mahakam
25	T11	7,80	6,80	Tengkawang	Mahakam
26	R01	8,40	7,90	Bukit Biru	Mahakam
27	BYR03	3,10	2,40	New Samarinda	Mahakam
28	TLP08	1,60	1,20	Teluk Pandan	Mahakam
Total		103,14	92,73		

Tabel 3. 8 Skema UFLS Penyulang Tahap 4

No	Tahap 4 (48.80 Hz)				
	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Lepas Beban (LWBP)	Gardu Induk	Subsistem
1	PLH03	0,47	0,44	Pelaihari	Barito
2	PLH07	4,68	3,77	Pelaihar	Barito
3	MTL02	2,03	2,81	Mantuil	Barito
4	KYT01	3,87	3,90	Kayutangi	Barito
5	BDR05	3,71	2,71	Bandara	Barito
6	BDR06	1,84	1,47	Bandara	Barito
7	BRB08	1,30	1,30	Barikin	Barito
8	BRB09	1,70	1,70	Barikin	Barito
9	MTL04	2,00	2,00	Mantuil	Barito
10	RNT03	1,03	0,81	Rantau	Barito
11	BNG03	2,10	2,10	Rantau	Barito
12	SLG07	0,75	0,75	Tanjung	Barito
13	NRU02	1,40	1,40	Amuntai	Barito
14	PRY04	2,43	2,12	Palangkaraya	Barito
15	PRY05	6,92	6,36	Palangkaraya	Barito
16	SPT06	5,18	4,86	Sampit	Barito
17	STB03	8,64	6,39	Sei Tabuk	Barito
18	GUL01	5,08	4,71	GIS Ulin	Barito
19	PRN02	2,74	3,18	Paringin	Barito
20	PRN04	4,27	1,43	Paringin	Barito
21	I08	5,10	6,40	Industri	
22	I10	6,20	6,10	Industri	
23	S08	6,60	5,60	Manggarsari	
24	T16	4,60	4,40	Tengkawang	
25	KTB01	6,10	4,50	Kotabangun	
Total		92,04	89,41		

Tabel 3. 9 Skema UFLS Penyulang Tahap 5

No	Tahap 5 (48.70 Hz)				
	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Lepas Beban (LWBP)	Gardu Induk	Subsistem
1	CPK13	4,21	3,87	Cempaka	Barito
2	CPK15	2,56	2,15	Cempaka	Barito
3	CPK16	9,85	9,38	Cempaka	Barito
4	PLH09	2,15	2,00	Pelaihari	Barito
5	MTL03	2,96	2,90	Mantuil	Barito
6	MTL05	5,42	5,71	Mantuil	Barito
7	SBR08	2,34	1,96	Seberang Barito	Barito
8	TRS23	7,67	6,70	Trisakti	Barito
9	TRS11	3,87	3,34	Trisakti	Barito
10	MRB01	3,37	3,24	Marabahan	Barito
11	SLG04	1,13	1,13	Tanjung	Barito
12	PRY08	2,00	1,90	Palangkaraya	Barito
13	PBN04	1,53	1,40	Pangkalan Bun	Barito
14	PGN03	2,31	2,18	Parenggean	Barito
15	STB04	0,31	0,50	Sei Tabuk	Barito
16	GUL13	0,42	3,71	GIS Ulin	Barito
17	I05	5,90	5,70	Industri	Mahakam
18	J03	9,00	7,50	Karang Joang	Mahakam
19	S01	6,10	5,80	Manggarsari	Mahakam
20	STA02	6,90	5,70	Sangatta	Mahakam
21	STA01	1,80	1,40	Sangatta	Mahakam
Total		82,70	78,27		

3.1.10. Tunda Waktu

Tunda waktu adalah waktu jeda antara waktu saat relay frekuensi mulai pick-up sampai CB bekerja untuk melepas beban. Pada dasarnya, semakin cepat tunda waktu yang ada, maka pengaturan pada skema *load shedding* ini akan semakin baik, karena memungkinkan untuk digunakan banyak tahap pelepasan beban. Sebaliknya, tunda waktu yang besar akan mengakibatkan frekuensi akan jatuh lebih rendah dari yang diharapkan, sehingga akan mengurangi tahap pelepasan beban.

3.1.11. Penentuan Skema Over Frequency Relay (OFR)

Beberapa prosedur dan kriteria harus diperhatikan ketika mendesain skema OFR untuk sebuah sistem, yaitu:

1. Kondisi keseimbangan sistem pembangkit dengan beban yang akan dipasang.

2. Besar beban pembangkit yang akan dilepas.
3. Setting frekuensi OFR.
4. Tunda waktu / time delay relay.

3.1.12. Kondisi *Over Frequency* yang Akan Diantisipasi

Saat sistem mengalami gangguan transmisi atau trafo daya dengan beban yang besar, sehingga sistem mengalami pengurangan beban yang akan dipasok secara tiba – tiba, maka frekuensi sistem akan naik hingga pada kondisi *steady state* dan jika tidak mencapai kondisi tersebut, *over frequency* akan mengakibatkan sistem *collapse* dan *blackout*. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka diperlukan skema *Over Frequency Relay* (OFR) yang akan dipasang pada beberapa pembangkit. Hal tersebut dengan tujuan mengurangi suplai daya pembangkit ke sistem untuk mengembalikan kondisi frekuensi sistem dalam batasan normal.

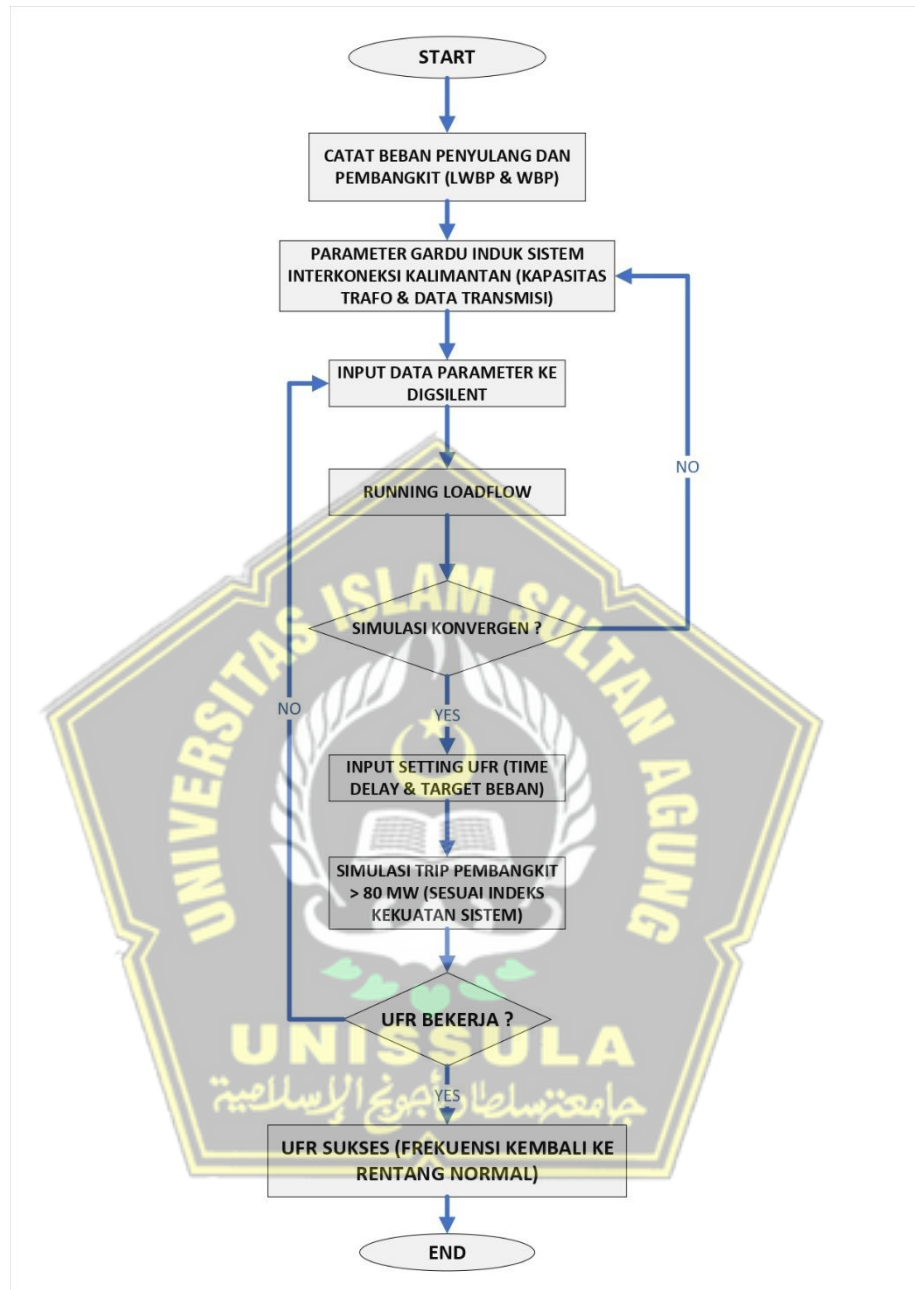
3.2. Simulasi Sistem dengan Software DIGSILENT Power Factory

Sebelum memasukkan parameter - parameter ke dalam *Software DIGSILENT Power Factory*, terlebih dahulu dibuat standar operasional prosedur untuk merencanakan strategi pelepasan beban (*load shedding*) dan *island operation* seperti berikut :

1. Perencanaan *Load shedding* dan *island operation* dilaksanakan berdasarkan :
 - a. Perubahan konfigurasi sistem
 - b. Kinerja *load shedding* dan *island operation*
2. Menghitung persen perubahan beban pembangkit terhadap persen perubahan frekuensi berdasarkan data statistik gangguan sistem
3. Membuat asumsi beban pembangkit lepas dari sistem dan alokasi pelepasan beban penyulang
4. Memasukkan data realisasi pembangkit dan data realisasi penyulang.
5. Menentukan tahapan setting UFR dan besar beban penyulang yang dilepas per tahapan UFR
6. Menentukan setting UFR pada penyulang 20 kV berdasarkan urutan skala prioritas.
7. Melakukan simulasi keseimbangan beban pembangkit dan penyulang pertahapan UFR
8. Menentukan setting UFR pada SUTT 150 kV, SUTT 70 kV, Bus Kopler, dan Incoming Trafo.
9. Melakukan simulasi keseimbangan beban pembangkit dan penyulang masing-masing island. Jika belum sesuai maka kembali ke poin 5.

Dalam membangun simulasi menggunakan DIGSILENT Power Factory, *flow chart* simulasi ditunjukkan seperti pada Gambar 3.6.

Dalam *flow chart* seperti pada Gambar 3.6 terdapat langkah-langkah untuk membuat simulasi pelepasan beban dengan menggunakan UFR.



Gambar 3. 6 Flowchart Simulasi

3.2.1. Mengumpulkan Data Beban

Sebagai langkah awal dalam pembuatan simulasi ini, terlebih dahulu kita mengumpulkan data-data beban baik itu beban gardu induk maupun beban pembangkit sebagai dasar untuk diinput ke dalam *Software DIGSILENT Power Factory*. Data beban gardu induk dan pembangkit kita dapat dari jurnal yang dilakukan persetengah jam setiap harinya dan data yang diambil adalah pada saat waktu beban puncak atau yang disingkat WBP.

3.2.2. Mengumpulkan Parameter Gardu Induk

Selain mengumpulkan data beban, disini juga diperlukan parameter-parameter yang ada pada Gardu Induk seperti data trafo dan transmisi. Data tersebut berupa kapasitas trafo serta tegangan pada masing-masing Gardu Induk dan panjang saluran transmisi serta tipe penghantar. Adapun data trafo dan saluran transmisi yang ada di Sistem Kalselteng dapat dilihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

3.2.3. Input Data ke Software DIgSILENT Power Factory

Setelah selesai mengumpulkan data-data parameter, maka dapat dilakukan *input* parameter tersebut ke dalam *software DIgSILENT Power Factory*.



BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada buku kali ini *Under Frequency Load Shedding* serta *Island Operation* sebagai salah satu dari *defense scheme* untuk menghindari sistem terjadi gangguan yang meluas pada Sistem Interkoneksi Kalimantan akan disimulasikan dengan *software DigSILENT Power Factory*. Simulasi akan dilakukan pada waktu beban puncak (WBP) sistem Interkoneksi dengan beberapa kondisi sebagai berikut :

1. Kondisi sistem normal (tidak terjadi gangguan).
2. Kondisi trip pembangkit PLTU SLK Unit 1 dan Unit 2 saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay).
3. Kondisi trip pembangkit PLTU GPK Unit 1 dan Unit 2 saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay)
4. Kondisi trip pembangkit PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2 saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay)
5. Kondisi trip pembangkit PLTU Asam-Asam Unit 5 dan Unit 6 saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay)
6. Kondisi trip pembangkit PLTMG Bangkanai saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay)
7. Kondisi trip pembangkit PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2 saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay)
8. Kondisi trip pembangkit PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2 saat belum terpasang dan sudah terpasangnya relay UFR (Under Frequency Relay)
9. Kondisi tripnya jaringan transmisi SUTT 150 kV Tanjung - Komam sehingga terbentuknya island subsistem Kaltimra dan subsistem Kalselteng

4.1. Hasil Pengujian Simulasi *DigSILENT Power Factory*

4.1.1. Hasil Pengujian Kondisi Normal

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dan kondisi sistem normal dimana kondisi pembangkitan seimbang dengan beban pada Sistem Interkoneksi di Kalimantan. Besarnya daya pembangkitan sebesar 1793,37 MW sama dengan beban pada sistem tersebut sebesar 1793,37 MW (beban sistem 1740,58 MW dengan beban pada Sistem Mahakam sebesar 768,87 MW, beban pada Sistem Barito sebesar 1024,50 MW serta susut sistem sebesar 52,79 MW) seperti pada tabel 4.1 Kondisi Sistem Saat Tidak Terjadi Gangguan (Kondisi Normal).

Tabel 4. 1 Kondisi Sistem Saat Tidak Terjadi Gangguan (Kondisi Normal)

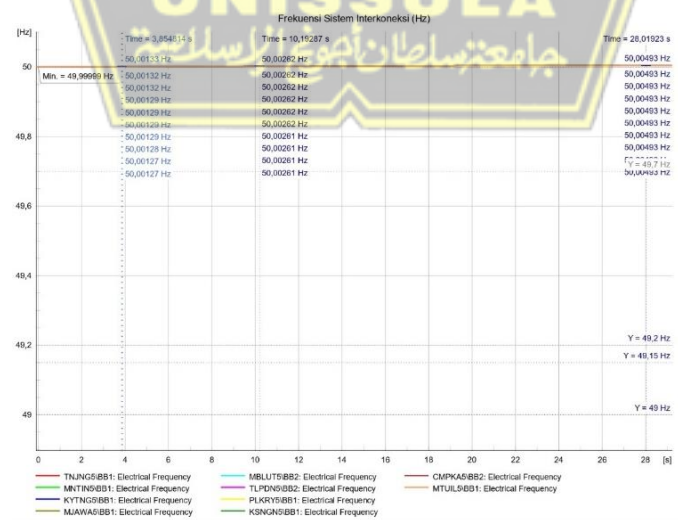
No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit	1791,59		1791,59
2	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59

3	Beban Sistem Mahakam		758,88	
4	Susut Sistem Barito		39,25	
5	Susut Sistem Mahakam		11,76	
6	Transfer Antar Subsistem		-15,96	
Kondisi Sistem				Seimbang

Tabel 4. 2 Daya Mampu Netto Pembangkit Saat Kondisi Sistem Normal

No.	Unit Pembangkit	Subsistem	Daya Mampu Netto (MW)
1.	PLTU TPI	Barito	200,00
2.	PLTU GPK	Mahakam	200,00
3.	PLTU SLK	Barito	200,00
4.	PLTU Teluk Balikpapan	Mahakam	180,00
5.	PLTU Asam Asam	Barito	316,00
6.	PLTU Indoeka	Mahakam	200,00
7.	PLTU CFK	Mahakam	95,00
8.	PLTGU Senipah	Mahakam	117,00
9.	PLTU Pulang Pisau	Barito	90,00
10.	PLTMG Bangkanai	Barito	277,60
11.	PLTG Peaking	Mahakam	140,00
12.	PLTGU Tanjung Batu	Mahakam	45,60
13.	PLTU Sewa ITP	Barito	45,00
14.	PLTMG MPP Bontang	Mahakam	36,40
15.	PLTA PM Noor	Barito	27,00
16.	PLTU EEI	Barito	11,00
17.	PLTD Gunung Malang	Mahakam	12,00

18.	PLTD Batakan	Mahakam	7,50
19.	PLTD Paser	Mahakam	11,00
20.	PLTG Trisakti	Barito	17,00
21.	PLTD Trisakti	Barito	33,30
22.	PLTD Kapuas	Barito	4,40
23.	PLTD Kota Baru	Barito	3,05
24.	PLTD Baamang	Barito	3,20
25.	PLTD Kumai	Barito	5,30
26.	PLTD Kahayan	Barito	6,00
27.	PLTD Karang Asam	Mahakam	18,79
28.	PLTD Keledang	Mahakam	7,00
29.	PLTD MAK	Mahakam	4,20
30.	PLTBG Sukadamai	Barito	2,00
31.	Excess Barito	Barito	16,60
32.	Excess Mahakam	Mahakam	7,00

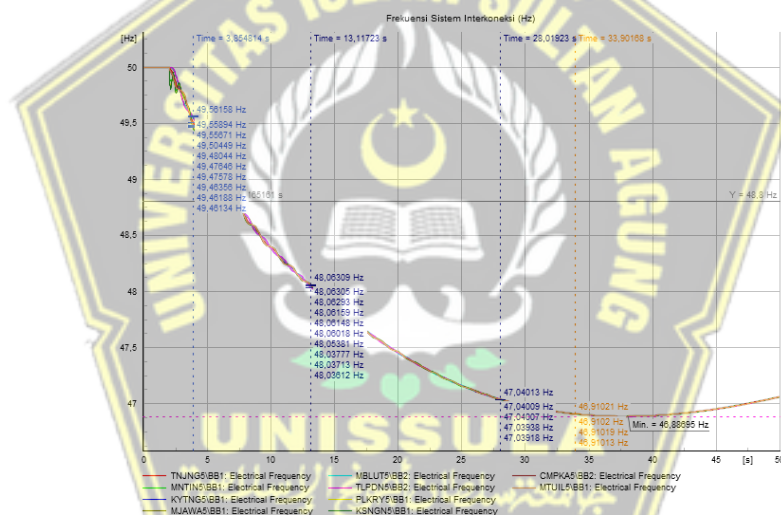


Gambar 4. 1 Frekuensi Sistem Saat Kondisi Normal

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, terlihat dari Gambar 4.1 bahwa saat kondisi sistem dalam kondisi normal dimana beban pembangkitan seimbang dengan beban sistem, maka frekuensi sistem berada di angka 50 Hz sesuai dengan grid code di Indonesia.

4.1.2. Hasil Pengujian Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Setelah melakukan pengujian sistem saat kondisi normal dan memastikan parameter – parameter sistem sudah sesuai dengan kondisi existing, maka hal yang selanjutnya dilakukan adalah pengujian trip PLTU SLK Unit 1 dan 2 dimana sistem mengalami kehilangan supply sebesar 200 MW (Daya Mampu Netto PLTU SLK per unit adalah 100 MW). Saat sistem kehilangan supply 200 MW dimana PLTU SLK Trip 2 Unit, tanpa menggunakan relay UFR, frekuensi akan turun hingga mencapai frekuensi terendah yakni 46.88 Hz dikarenakan tidak adanya pelepasan beban sehingga sistem dalam kondisi tidak seimbang dimana beban sistem lebih besar dibandingkan dengan beban pembangkitan.



Gambar 4. 2 Frekuensi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU SLK Tanpa UFR

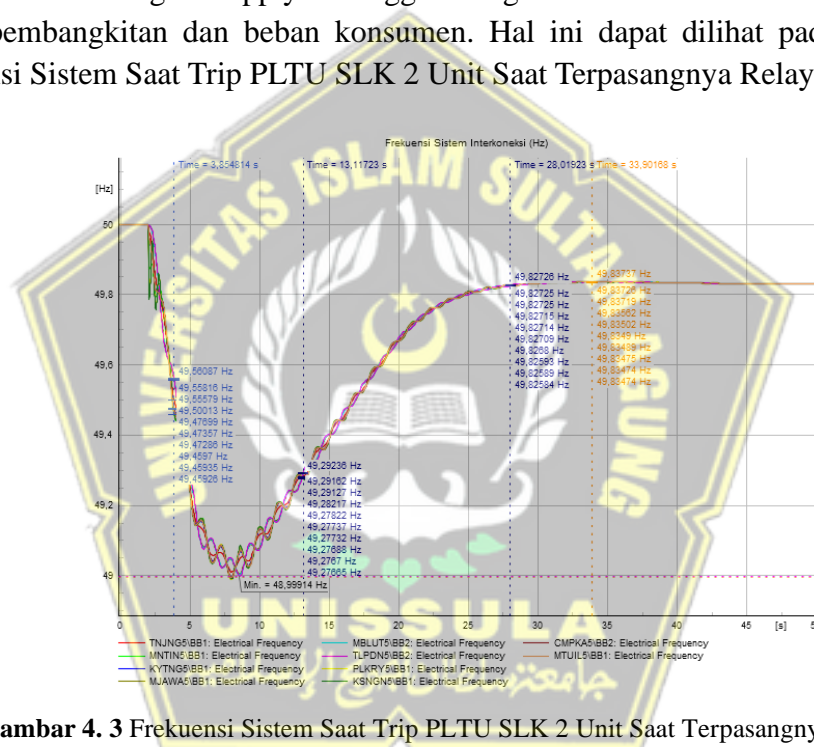
Tabel 4. 3 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU SLK

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU SLK Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	

5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,76	
Kondisi Sistem				Tidak Seimbang

4.1.3. Hasil Pengujian Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR

Setelah dilakukannya pengujian Trip PLTU SLK 2 Unit saat belum terpasangnya Relay UFR, selanjutnya dilakukan pengujian Trip PLTU SLK 2 Unit saat sudah terpasangnya Relay UFR. Relay UFR akan melakukan pelepasan beban (Load Shedding) pada sistem untuk mengakomodir kebutuhan sistem yang mana mengalami kehilangan supply sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan antara beban pembangkitan dan beban konsumen. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR.



Gambar 4. 3 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU SLK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR

Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 46.88 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) dengan UFR maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.84 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.99 Hz. Hal ini dikarenakan terjadinya pelepasan beban sebesar 188,77 MW dimana sistem kehilangan supply sebesar 200 MW. Skema UFLS bekerja hingga tahap 3 dimana sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya bahwa skema UFLS tahap 3 bekerja pada rentang frekuensi 49.00 Hz setelah sebelumnya skema UFLS Tahap 1 (49.20 Hz) dan skema UFLS Tahap 2 (49.15 Hz) bekerja sepenuhnya.

Tabel 4. 4 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU SLK Unit 1 & 2

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU SLK Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1602,86
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,76	
7	Pelepasan Beban		-188,77	
Frekuensi Sistem				49.84 Hz

Skema UFLS yang bekerja pada tahap 3 tidak bekerja sepenuhnya, dikarenakan frekuensi dapat kembali ke rentang aman setelah membuang 188,70 MW beban konsumen sehingga tidak diperlukan membuang beban seluruhnya dari target pelepasan beban pada skema UFLS tahap 3. Skema pelepasan beban terjadi secara bertahap dimulai dari detik ke 5 hingga detik ke 8 setelah gangguan trip PLTU SLK 2 Unit pada detik ke 2, setelah itu frekuensi berangsur naik hingga pada rentang aman hingga stabil pada 49.84 Hz. Realisasi Skema UFLS Penyulang dapat dilihat pada Tabel 4.5 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU SLK Unit 1 dan Unit 2.

Tabel 4. 5 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU SLK Unit 1 dan Unit 2

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,60	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,90	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito

16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,60	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6,00	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,80	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,50	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,10	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,80	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1,00	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito
29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,40	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,10	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,20	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,60	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,60	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2,00	Tahap 2	Embalut	Mahakam
46	R02	6,10	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam
47	TLP02	5,40	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
48	PLH06	4,8	Tahap 3	Pelaihari	Barito
49	TRS16	5,08	Tahap 3	Trisakti	Barito
50	TRS09	5,11	Tahap 3	Trisakti	Barito
51	TPN06	1,06	Tahap 3	Rantau	Barito
52	SLG02	1,88	Tahap 3	Tanjung	Barito
53	SMT06	4,74	Tahap 3	Sampit	Barito
54	PRY02	6,05	Tahap 3	Palangkaraya	Barito
55	SPT03	2,56	Tahap 3	Sampit	Barito
56	SPT04	1,5	Tahap 3	Sampit	Barito
57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
58	SLT04	4,74	Tahap 3	Selat	Barito
59	J06	8,8	Tahap 3	Karang Joang	Mahakam
60	I06	3,9	Tahap 3	Industri	Mahakam

61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
62	BYR01	3,9	Tahap 3	New Samarinda	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		188,77			

Adapun untuk persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada tabel 4.6 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing – Masing Gardu Induk dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut, sehingga nantinya akan dilihat kembali untuk kesesuaian beban untuk skema Island pada Sistem Interkoneksi apabila skema UFLS tersebut belum mengkompensasi hilangnya supply pada sistem saat terjadi gangguan penyaluran maupun gangguan pembangkitan. Besarnya persentase pelepasan beban dapat dihitung dengan rumus 4.1 :

$$\% \text{ Pelepasan Beban} : \frac{\text{Besar Beban Yang Dilepas}}{\text{Total Beban Gardu Induk}} \times 100 \dots\dots\dots (4.1)$$

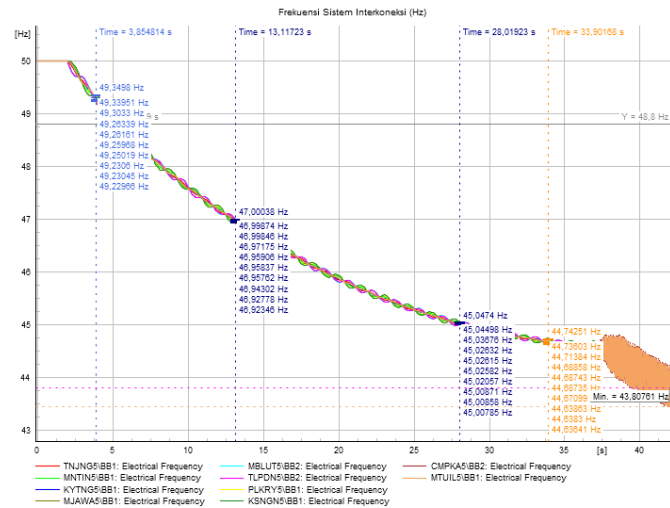
Tabel 4. 6 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU SLK Unit 1 dan Unit 2

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72		1,88	34,82	2%	0%	6%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		4,74	24,12	8%	0%	16%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		3,90	74,60	12%	0%	13%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%
14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%
16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%

18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%
20	Palangkaraya		1,15	6,05	42,22	0%	4%	20%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%
25	Trisakti		4,55	10,19	55,76	0%	15%	33%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%
33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%
34	Pelaihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
35	Rantau			1,06	26,20	0%	0%	3%
36	Sampit			8,80	36,87	0%	0%	29%
37	Karang Joang			8,80	12,00	0%	0%	29%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
39	New Samarinda			3,90	21,53	0%	0%	13%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	58,77				

4.1.4. Hasil Pengujian Trip PLTU GPK 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Selanjutnya dilakukan pengujian trip PLTU GPK Unit 1 dan 2 pada Subsystem Mahakam dimana sistem mengalami kehilangan supply sebesar 200 MW (Daya Mampu Netto PLTU GPK per unit adalah 100 MW). Saat sistem kehilangan supply 200 MW dimana PLTU GPK Trip 2 Unit tanpa menggunakan relay UFR, frekuensi akan turun hingga mencapai frekuensi terendah yakni 44.74 Hz dikarenakan tidak adanya pelepasan beban sehingga sistem dalam kondisi tidak seimbang dimana beban sistem lebih besar dibandingkan dengan beban pembangkitan.



Gambar 4. 4 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU GPK 2 Unit Tanpa Relay UFR

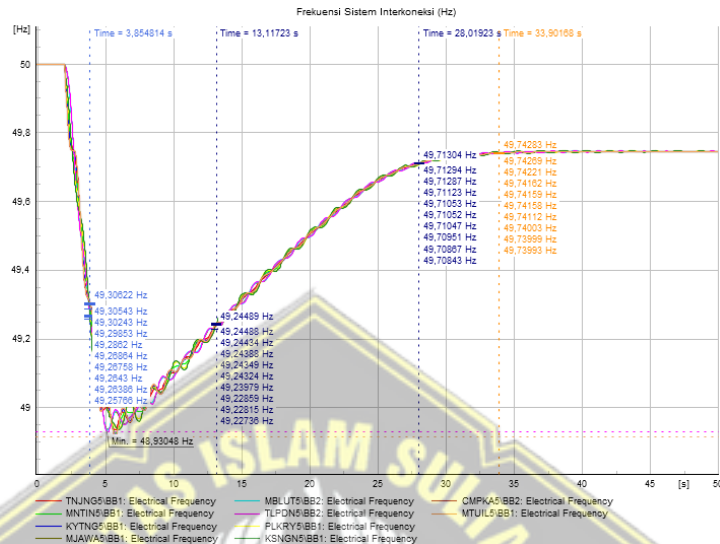
Dari penurunan frekuensi tersebut, dapat terlihat adanya perbedaan dengan penurunan frekuensi saat Trip nya PLTU SLK 2 Unit dimana sistem sama – sama kehilangan supply sebesar 200 MW namun frekuensi terendahnya berbeda saat kondisi tanpa adanya Relay UFR, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor lainnya seperti sensitivitas tegangan yang bervariasi di Kalimantan mengingat topologi jaringan pada Subsistem Mahakam dan Subsistem Barito berbeda. Selain itu karakteristik beban yang terdapat pada dua subsistem tersebut berbeda sehingga dapat memengaruhi penurunan frekuensi apabila terjadi gangguan pada tempat yang berbeda.

Tabel 4. 7 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU GPK

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU GPK Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,76	
Kondisi Sistem				Tidak Seimbang

4.1.5. Hasil Pengujian Trip PLTU GPK 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR

Untuk pengujian selanjutnya dimana PLTU GPK Trip 2 Unit dimana sistem kehilangan supply sebesar 200 MW saat sudah dipasangnya relay UFR, dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa frekuensi turun hingga 48.93 Hz dalam kurun waktu 3 detik setelah terjadinya gangguan trip pembangkit.



Gambar 4. 5 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU GPK 2 Unit Dengan Relay UFR

Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 44.74 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.87 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.93 Hz. Hal ini dikarenakan terdapat pelepasan beban sebesar 163,96 MW dimana sistem kehilangan supply sebesar 200 MW. Skema UFLS bekerja hingga tahap 3 dimana sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya bahwa skema UFLS tahap 3 bekerja pada rentang frekuensi 49.00 Hz setelah sebelumnya skema UFLS Tahap 1 (49.20 Hz) dan skema UFLS Tahap 2 (49.15 Hz) bekerja sepenuhnya.

Tabel 4. 8 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU GPK Unit 1 & 2

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU GPK Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1627,63
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	

5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,76	
7	Pelepasan Beban		-163,96	
Frekuensi Sistem				49.87 Hz

Skema UFLS yang bekerja sampai pada tahap 3 dikarenakan frekuensi turun hingga ke angka 48.91 Hz. Skema pelepasan beban terjadi secara bertahap dimulai ketika frekuensi mencapai titik terendah di detik ke 5 setelah gangguan trip PLTU GPK 2 Unit pada detik ke 2, setelah itu frekuensi berangsur naik hingga stabil di angka 49.87 Hz. Realisasi Skema UFLS Penyulang dapat dilihat pada Tabel 4.9 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU GPK Unit dan Unit 2.

Tabel 4.9 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU GPK Unit 1 dan Unit 2

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,6	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,9	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,6	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,8	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,5	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,1	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam

22	M05	4,8	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito
29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,4	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,1	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,2	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,6	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,6	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2	Tahap 2	Embalut	Mahakam
46	R02	6,1	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam
47	TLP02	5,4	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
48	PLH06	4,8	Tahap 3	Pelaihari	Barito
49	TRS16	5,08	Tahap 3	Trisakti	Barito
53	SMT06	4,74	Tahap 3	Sampit	Barito
54	PRY02	6,05	Tahap 3	Palangkaraya	Barito
57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
58	SLT04	4,74	Tahap 3	Selat	Barito
60	I06	3,9	Tahap 3	Industri	Mahakam
61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		163,96			

Adapun untuk persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada Tabel 4.10 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing – Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU GPK Unit 1 dan Unit 2 dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut, sehingga nantinya akan dilihat kembali untuk kesesuaian beban untuk skema Island pada Sistem Interkoneksi apabila skema UFLS tersebut belum mengkompensasi hilangnya supply pada sistem saat terjadi gangguan penyaluran maupun gangguan pembangkitan.

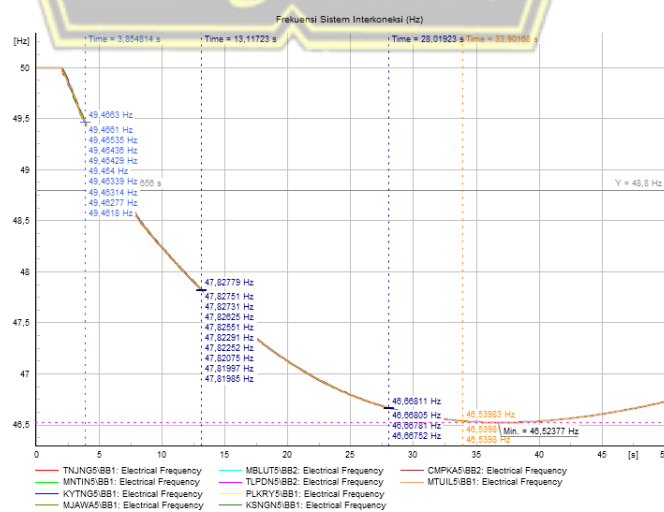
Tabel 4. 10 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU GPK Unit 1 dan Unit 2

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72			34,82	2%	0%	0%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		4,74	24,12	8%	0%	16%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		3,90	74,60	12%	0%	13%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%
14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%
16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%
18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%
20	Palangkaraya		1,15	6,05	42,22	0%	4%	20%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%

25	Trisakti		4,55	5,08	55,76	0%	15%	17%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%
33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%
34	Pelaihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
36	Sampit			4,74	36,87	0%	0%	16%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	33,96				

4.1.6. Hasil Pengujian Trip PLTU TPI 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Setelah melakukan pengujian pada Tripnya PLTU SLK 2 Unit dan PLTU GPK 2 Unit, maka pengujian yang dilakukan selanjutnya yakni pengujian trip PLTU TPI Unit 1 dan 2 dimana sistem mengalami kehilangan supply sebesar 200 MW (Daya Mampu Netto PLTU TPI per unit adalah 100 MW). Saat tanpa menggunakan relay UFR, ketika sistem kehilangan supply 200 MW, frekuensi akan turun hingga mencapai frekuensi terendah yakni 46.52 Hz dikarenakan tidak adanya pelepasan beban sehingga sistem dalam kondisi tidak seimbang dimana beban sistem lebih besar dibandingkan dengan beban pembangkitan.



Gambar 4. 6 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU TPI 2 Unit Tanpa Relay UFR

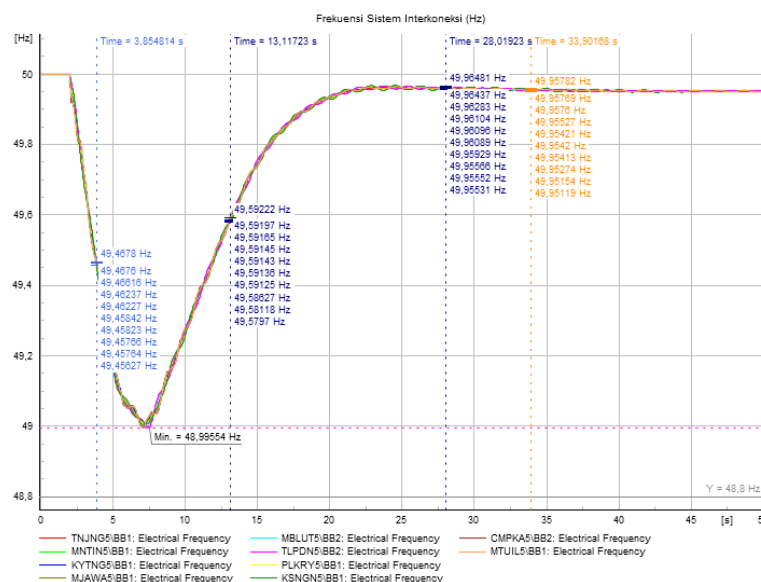
Perbedaan pada titik terendah frekuensi saat terjadinya trip Pembangkit dipengaruhi oleh berbagai hal seperti yang telah disebutkan dimana titik terjadinya gangguan cukup memengaruhi keseimbangan sistem. Ketidakseimbangan sistem yang terjadi akibat gangguan PLTU TPI Trip 2 Unit dapat dilihat pada tabel 4.11 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU TPI.

Tabel 4. 11 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU TPI

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)	
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59	
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-200,00			
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59	
4	Beban Sistem Mahakam		758,88		
5	Susut Sistem Barito		39,25		
6	Susut Sistem Mahakam		11,86		
Kondisi Sistem					Tidak Seimbang

4.1.7. Hasil Pengujian Trip PLTU TPI 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR

Ketidakseimbangan yang terjadi pada Sistem Interkoneksi akibat kehilangan supply pembangkit dimana penggunaan beban konsumen cukup tinggi menjadikan pelepasan beban secara bertahap (Load Shedding) dengan menggunakan UFR (Under Frequency Relay) mampu meminimalisir terjadinya gangguan meluas. Saat dilakukan pengujian Trip PLTU TPI 2 Unit dimana Relay UFR sudah terpasang, frekuensi terendah berada pada 48.99 Hz dalam kurun waktu 4 detik setelah gangguan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.7 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU TPI 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR.



Gambar 4. 7 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU TPI 2 Unit Saat terpasangnya Relay UFR

Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 46.52 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.95 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.99 Hz. Pelepasan beban saat Trip PLTU TPI 2 Unit terjadi sebesar 163,02 MW. Skema UFLS Tahap 1 (Setting 49.20 Hz), Tahap 2 (Setting 49.15 Hz) dan Tahap 3 (Setting 49.00 Hz) bekerja dengan sebagaimana mestinya.

Tabel 4. 12 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU TPI Unit 1 dan 2

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1628,57
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		758,88	
7	Pelepasan Beban		-163,02	
Frekuensi Sistem				49.95 Hz

Realisasi Skema UFLS Penyulang yang bekerja saat terjadinya gangguan PLTU TPI Trip 2 Unit, dimana skema UFLS bekerja sesuai dengan setingan yang telah ditentukan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.13 Realisasi Skema UFLS Penyulan Saat Trip PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2.

Tabel 4. 13 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,6	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito

9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,9	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,6	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,8	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,5	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,1	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,8	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito
29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,4	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,1	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,2	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,6	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,6	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2	Tahap 2	Embalut	Mahakam

46	R02	6,1	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam
47	TLP02	5,4	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
48	PLH06	4,8	Tahap 3	Pelaihari	Barito
49	TRS16	5,08	Tahap 3	Trisakti	Barito
50	TRS09	5,11	Tahap 3	Trisakti	Barito
53	SMT06	4,74	Tahap 3	Sampit	Barito
57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
58	SLT04	4,74	Tahap 3	Selat	Barito
60	I06	3,9	Tahap 3	Industri	Mahakam
61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		163,02			

Adapun untuk persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada Tabel 4.14 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing – Masing Gardu Induk Saat Terjadi Trip PLTU TPI Unit dan Unit 2 dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut.

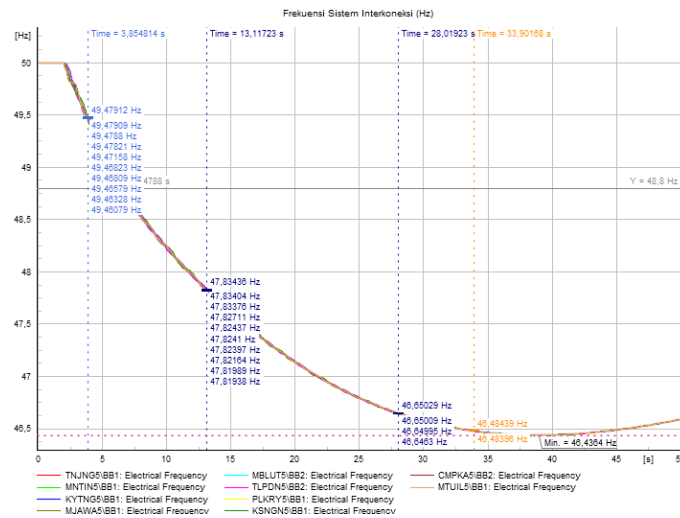
Tabel 4. 14 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Terjadi Trip PLTU TPI Unit 1 dan Unit 2

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72		0,00	34,82	2%	0%	0%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		4,74	24,12	8%	0%	16%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		3,90	74,60	12%	0%	13%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%
14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%

16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%
18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%
20	Palangkaraya		1,15		42,22	0%	4%	0%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%
25	Trisakti		4,55	10,19	55,76	0%	15%	33%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%
33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%
34	Pelaihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
36	Sampit			4,74	36,87	0%	0%	16%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	33,02				

4.1.8. Hasil Pengujian Trip PLTU Asam – Asam Unit 5 dan 6 Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Pengujian trip pembangkit terbesar di Sistem Interkoneksi Kalimantan juga dilakukan pada 2 Unit Pembangkit dengan DMN 100 MW per unit yang baru masuk sistem di tahun 2024 yakni PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6. Sistem Interkoneksi Kalimantan akan mengalami kehilangan supply sebesar 200 MW untuk pembangkit yang menyupply pusat beban Kalimantan Selatan serta KTT yang ada di Tanah Bumbu dimana saat sistem kehilangan PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 akibat gangguan, maka frekuensi akan turun hingga ke 46.43 Hz.



Gambar 4. 8 Frekuensi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 Tanpa UFR

Kondisi ketidakseimbangan sistem saat kehilangan PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 dapat dilihat pada 4.15 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Asam-Asam Unit 5 dan Unit 6.

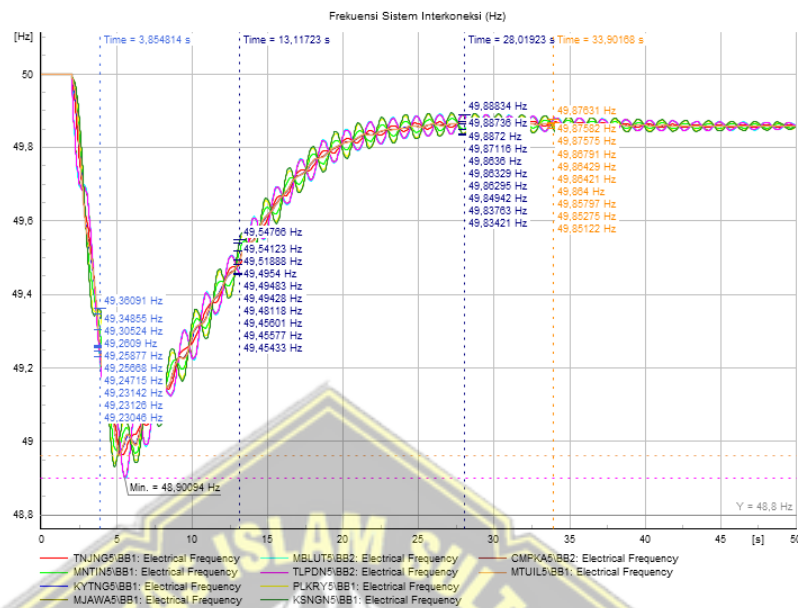
Tabel 4. 15 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Asam-Asam Unit 5 dan Unit 6

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 Trip	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
Kondisi Sistem				Tidak Seimbang

4.1.9. Hasil Pengujian Trip PLTU Asam – Asam Unit 5 dan 6 Saat Terpasangnya Relay UFR

Salah satu skema pertahanan yang dipilih untuk menyelamatkan sistem saat terjadinya gangguan trip pembangkit adalah dengan memasang relay UFR pada PMT 20kV penyulang distribusi untuk mempercepat pemulihan akibat gangguan. Relay UFR melakukan pelepasan beban (Load Shedding) pada sistem untuk mengakomodir kebutuhan sistem yang mana mengalami kehilangan supply yang mengakibatkan tidak seimbangnya beban pembangkitan dan beban konsumen. Hal ini dapat dilihat pada

Gambar 4.9 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Asam – Asam Unit 5 dan Unit 6 Saat Terpasangnya Relay UFR.



Gambar 4. 9 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6 Dengan Relay UFR

Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 46.43 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.74 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.93 Hz. Hal ini dikarenakan terjadinya pelepasan beban sebesar 176,07 MW dimana sistem kehilangan supply sebesar 200 MW. Skema UFLS Tahap 1, Tahap 2, Tahap 3 bekerja dengan sebagaimana mestinya sebagai respon untuk mengembalikan frekuensi ke rentang aman.

Tabel 4. 16 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU Asam – Asam Unit 5 & 6

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1564,51
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
7	Pelepasan Beban		-176,07	
Frekuensi Sistem				49.87Hz

Realisasi skema UFLS saat terjadinya gangguan PLTU Asam Asam Unit 5 dan 6 dapat dilihat pada 4.17 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6.

Tabel 4. 17 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,6	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,9	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,6	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,8	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,5	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,1	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,8	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito
29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito

34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,4	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,1	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,2	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,6	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,6	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2	Tahap 2	Embalut	Mahakam
46	R02	6,1	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam
47	TLP02	5,4	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
48	PLH06	4,8	Tahap 3	Pelaihari	Barito
49	TRS16	5,08	Tahap 3	Trisakti	Barito
50	TRS09	5,11	Tahap 3	Trisakti	Barito
51	TPN06	1,06	Tahap 3	Rantau	Barito
52	SLG02	1,88	Tahap 3	Tanjung	Barito
53	SMT06	4,74	Tahap 3	Sampit	Barito
54	PRY02	6,05	Tahap 3	Palangkaraya	Barito
57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
59	J06	8,8	Tahap 3	Karang Joang	Mahakam
60	I06	3,9	Tahap 3	Industri	Mahakam
61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		176,07			

Adapun untuk persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada Tabel 4.18 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6. Persentase Realisasi Skema UFLS Masing – Masing Gardu Induk dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut, sehingga nantinya akan dilihat kembali untuk kesesuaian beban untuk skema Island pada Sistem Interkoneksi apabila skema UFLS tersebut belum mengkompensasi hilangnya supply pada sistem saat terjadi gangguan penyaluran maupun gangguan pembangkitan.

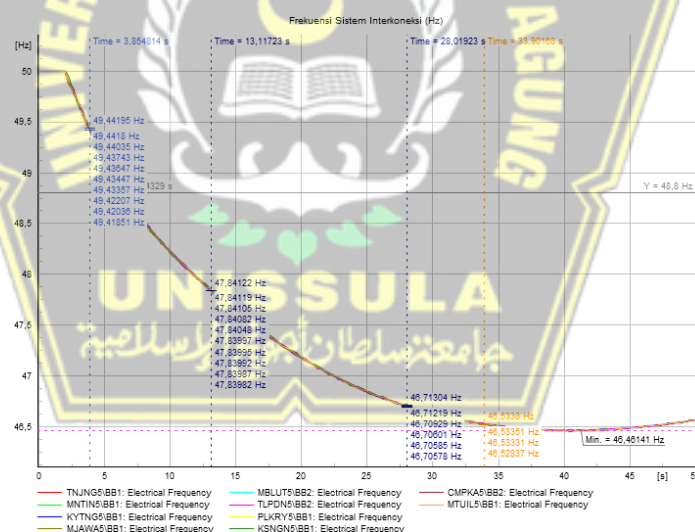
Tabel 4. 18 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Asam Asam Unit 5 dan Unit 6

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72		1,88	34,82	2%	0%	6%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		0,00	24,12	8%	0%	0%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		3,90	74,60	12%	0%	13%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%
14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%
16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%
18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%
20	Palangkaraya		1,15	6,05	42,22	0%	4%	20%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%
25	Trisakti		4,55	10,19	55,76	0%	15%	33%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%
33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%

34	Pelaihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
35	Rantau			1,06	26,20	0%	0%	3%
36	Sampit			4,74	36,87	0%	0%	16%
37	Karang Joang			8,80	12,00	0%	0%	29%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	46,07				

4.1.10. Hasil Pengujian Trip PLTMG Bangkanai Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Pengujian PLTMG Bangkanai adalah pengujian yang dilakukan selanjutnya dimana sistem akan mengalami kehilangan supply diatas 100 MW apabila kehilangan supply dari PLTMG Bangkanai. PLTMG Bangkanai merupakan salah satu pembangkit dengan sumber gas yang memiliki daya mampu netto hingga 276 MW di Sistem Interkoneksi Kalimantan. Saat tanpa menggunakan relay UFR, ketika sistem kehilangan supply 156 MW, frekuensi akan turun hingga mencapai frekuensi terendah yakni 46.40 Hz dikarenakan tidak adanya pelepasan beban sehingga sistem dalam kondisi tidak seimbang dimana beban sistem lebih besar dibandingkan dengan beban pembangkitan.



Gambar 4. 10 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai Tanpa UFR

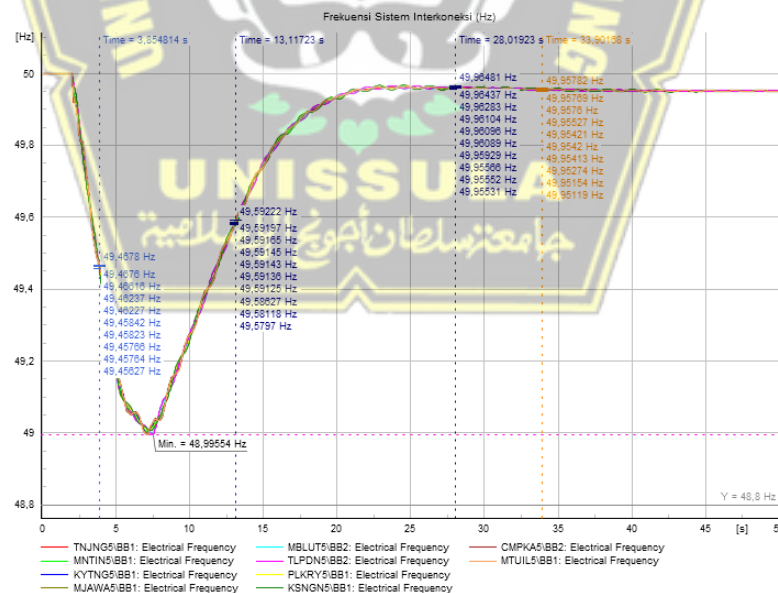
Ketidakeimbangan sistem yang terjadi akibat gangguan PLTMG Bangkanai sekitar 160 MW dapat dilihat pada Tabel 4.19 Kondisi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai.

Tabel 4. 19 Kondisi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1635,62
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-155,97		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
Kondisi Sistem				Tidak Seimbang

4.1.11. Hasil Pengujian Trip PLTMG Bangkanai Saat Terpasangnya Relay UFR

Setelah dilakukan pengujian Trip PLTMG Bangkanai tanpa menggunakan relay UFR, maka pengujian selanjutnya yakni pengujian tripnya PLTMG Bangkanai dengan menggunakan relay UFR. Respon frekuensi sistem saat terjadinya Trip PLTMG Bangkanai dapat dilihat pada Gambar 4. 11 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai.



Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 46.40 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.98 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.98 Hz. Hal ini dikarenakan terjadinya pelepasan beban sebesar 142,39 MW dimana sistem kehilangan supply sebesar 156 MW. Skema UFLS Tahap 1 dan Tahap 2 bekerja

dengan sebagaimana mestinya, sedangkan Tahap 3 hanya bekerja untuk membuka 6 penyulang.

Tabel 4. 20 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTMG Bangkanai

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1635,62
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-155,97		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1649,30
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
7	Pelepasan Beban		-142,39	
Frekuensi Sistem				49.98 Hz

Realisasi Skema UFLS Penyulang yang bekerja saat terjadinya gangguan PLTMG Bangkanai dimana terjadi pelepasan beban sebesar 142,39 MW dapat dilihat pada tabel 4.21

Tabel 4. 21 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTMG Bangkanai

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,6	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito

13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,9	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,6	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,8	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,5	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,1	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,8	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito
29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,4	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,1	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,2	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,6	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,6	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2	Tahap 2	Embalut	Mahakam
46	R02	6,1	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam
47	TLP02	5,4	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
48	PLH06	4,8	Tahap 3	Pelaihari	Barito
51	TPN06	1,06	Tahap 3	Rantau	Barito
52	SLG02	1,88	Tahap 3	Tanjung	Barito

57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		142,39			

Persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada Tabel 4.22 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTMG Bangkanai, dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut, sehingga nantinya akan dilihat kembali untuk kesesuaian beban untuk skema Island pada Sistem Interkoneksi apabila skema UFLS tersebut belum mengkompensasi hilangnya supply pada sistem saat terjadi gangguan penyaluran maupun gangguan pembangkitan.

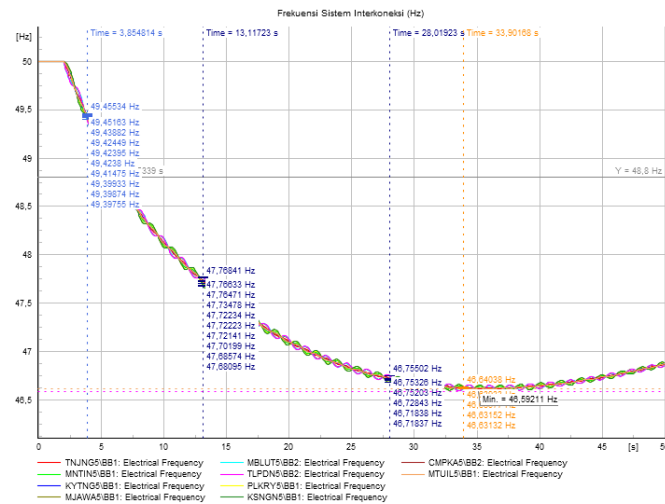
Tabel 4. 22 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTMG Bangkanai

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72		1,88	34,82	2%	0%	6%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		0,00	24,12	8%	0%	0%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		0,00	74,60	12%	0%	0%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%
14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%
16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%
18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%

20	Palangkaraya		1,15	0,00	42,22	0%	4%	0%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%
25	Trisakti		4,55	0,00	55,76	0%	15%	0%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%
33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%
34	Pelaihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
35	Rantau			1,06	26,20	0%	0%	3%
36	Sampit			0,00	36,87	0%	0%	0%
37	Karang Joang			0,00	12,00	0%	0%	0%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
39	New Samarinda			0,00	21,53	0%	0%	0%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	12,39				

4.1.12. Hasil Pengujian Trip PLTU Teluk Balikpapan 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Pengujian yang dilakukan selanjutnya yakni pengujian trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan 2 dimana sistem mengalami kehilangan supply sebesar 180 MW (Daya Mampu Netto PLTU Teluk Balikpapan per unit adalah 90 MW). Saat tanpa menggunakan relay UFR, ketika sistem kehilangan supply 180 MW, frekuensi akan turun hingga mencapai frekuensi terendah yakni 46.59 Hz dikarenakan tidak adanya pelepasan beban sehingga sistem dalam kondisi tidak seimbang dimana beban sistem lebih besar dibandingkan dengan beban pembangkitan.



Gambar 4. 12 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Tanpa UFR

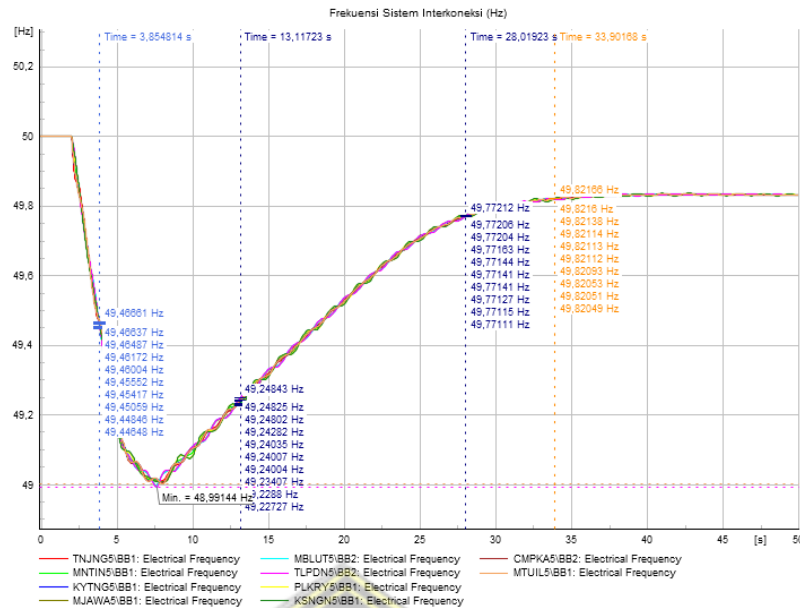
Ketidakeimbangan sistem yang terjadi akibat gangguan PLTU Teluk Balikpapan Trip 2 Unit dimana sistem kehilangan supply sebesar 180 MW dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 23 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Teluk Balikpapan

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1611,59
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-180,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
Kondisi Sistem				Tidak Seimbang

4.1.13. Hasil Pengujian Trip PLTU Teluk Balikpapan 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR

Selanjutnya dilakukan pengujian Trip PLTU Teluk Balikpapan 2 Unit saat sudah terpasangnya Relay UFR. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.13 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR.



Gambar 4. 13 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan dengan Relay UFR

Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 46.59 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.82 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.99 Hz. Hal ini dikarenakan terjadinya pelepasan beban sebesar 148,85 MW dimana sistem kehilangan supply sebesar 148,85 MW. Skema UFLS Tahap 1, Tahap 2 dan Tahap 3 bekerja sebagaimana mestinya dimana Tahap 1 bekerja saat frekuensi menyentuh di angka 49.20 Hz, Tahap 2 bekerja saat frekuensi menyentuh di angka 49.15 Hz serta Tahap 3 bekerja pada saat frekuensi menyentuh di angka 49.00 Hz.

Tabel 4. 24 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1611,59
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-180,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1642,84
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
7	Pelepasan Beban		-148,85	
Frekuensi Sistem				49.98 Hz

Realisasi Skema UFLS Penyulang yang bekerja saat terjadinya gangguan PLTU Teluk Balikpapan Trip 2 Unit dapat dilihat pada Tabel 4.25 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2.

Tabel 4. 25 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,6	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito
7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,9	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,6	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,8	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,5	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,1	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,8	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito

29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,4	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,1	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,2	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,6	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,6	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2	Tahap 2	Embalut	Mahakam
46	R02	6,1	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam
47	TLP02	5,4	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
48	PLH06	4,8	Tahap 3	Pelaihari	Barito
51	TPN06	1,06	Tahap 3	Rantau	Barito
52	SLG02	1,88	Tahap 3	Tanjung	Barito
55	SPT03	2,56	Tahap 3	Sampit	Barito
57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
62	BYR01	3,9	Tahap 3	New Samarinda	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		148,85			

Adapun untuk persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada Tabel 4.26 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2, dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut, sehingga nantinya akan dilihat kembali untuk kesesuaian beban untuk skema Island pada Sistem Interkoneksi apabila skema UFLS tersebut belum mengkompensasi hilangnya supply pada sistem saat terjadi gangguan penyaluran maupun gangguan pembangkitan.

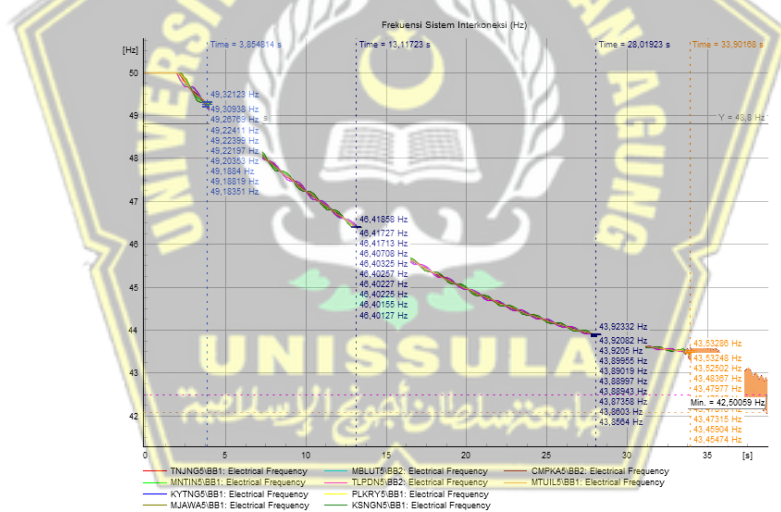
Tabel 4. 26 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Teluk Balikpapan Unit 1 dan Unit 2

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72		1,88	34,82	2%	0%	6%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		0,00	24,12	8%	0%	0%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		0,00	74,60	12%	0%	0%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%
14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%
16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%
18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%
20	Palangkaraya		1,15	0,00	42,22	0%	4%	0%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%
25	Trisakti		4,55	0,00	55,76	0%	15%	0%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%

33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%
34	Pelalihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
35	Rantau			1,06	26,20	0%	0%	3%
36	Sampit			2,56	36,87	0%	0%	8%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
39	New Samarinda			3,90	21,53	0%	0%	13%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	18,85				

4.1.14. Hasil Pengujian Trip PLTU Indoeka 2 Unit Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Pengujian gangguan pada pembangkit diatas 100 MW adalah pengujian trip PLTU Indoeka Unit 1 dan 2 dimana sistem mengalami kehilangan supply sebesar 200 MW (Daya Mampu Netto PLTU Indoeka per unit adalah 100 MW). Saat tanpa menggunakan relay UFR, ketika sistem kehilangan supply 200 MW, frekuensi akan turun hingga mencapai frekuensi terendah yakni 43.53 Hz dikarenakan tidak adanya pelepasan beban sehingga sistem dalam kondisi tidak seimbang dimana beban sistem lebih besar dibandingkan dengan beban pembangkitan.



Gambar 4. 14 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Indoeka Trip 2 Unit

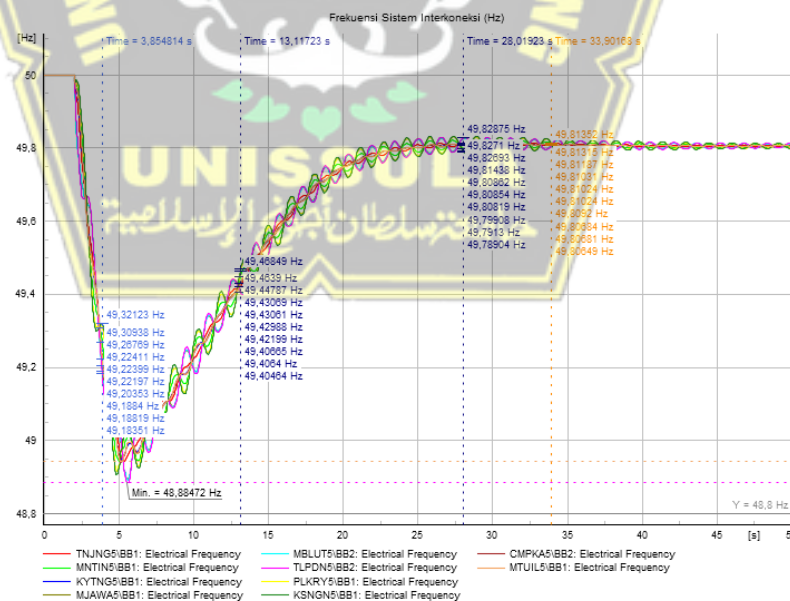
Ketidakseimbangan sistem yang terjadi akibat gangguan PLTU Indoeka Trip 2 Unit dengan total daya hilang pada sistem sebesar 200 MW dapat dilihat pada Tabel 4.27 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Indoeka.

Tabel 4. 27 Kondisi Sistem Saat Trip 2 Unit PLTU Indoeka

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-200,00		
3	Beban Sistem Barito		981,70	1791,59
4	Beban Sistem Mahakam		758,88	
5	Susut Sistem Barito		39,25	
6	Susut Sistem Mahakam		11,86	
Kondisi Sistem				Tidak Seimbang

4.1.15. Hasil Pengujian Trip PLTU Indoeka 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR

Pengujian dilanjutkan dengan mensimulasikan gangguan Trip PLTU Indoeka 2 Unit saat sudah terpasangnya Relay UFR. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Indoeka 2 Unit Saat Terpasangnya Relay UFR.



Gambar 4. 15 Frekuensi Sistem Saat Trip PLTU Indoeka 2 Unit

Dapat dilihat bahwa saat belum dipasangnya relay UFR frekuensi turun hingga 43.53 Hz kemudian saat dilakukannya pelepasan beban (UFLS) maka frekuensi dapat kembali ke rentang frekuensi aman yakni 49.81 Hz setelah sebelumnya turun hingga 48.88 Hz. Hal ini dikarenakan terjadinya pelepasan beban sebesar 151,79 MW dimana sistem kehilangan supply sebesar 200 MW. Skema UFLS Tahap 1, Tahap 2 dan Tahap 3 bekerja dengan sebagaimana mestinya dimana Tahap 1 bekerja saat frekuensi menyentuh di angka 49.20 Hz, Tahap 2 bekerja saat frekuensi menyentuh di angka 49.15 Hz serta Tahap 3 bekerja pada saat frekuensi menyentuh di angka 49.00 Hz.

Tabel 4. 28 Keseimbangan Sistem Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2

No	Keterangan	Suplai Daya (MW)	Konsumsi Daya (MW)	Total Daya (MW)	
1	Suplai Pembangkit Awal	1791,59		1591,59	
2	PLTU TPI Trip 2 Unit	-200,00			
3	Beban Sistem Barito		981,70	1639,90	
4	Beban Sistem Mahakam		758,88		
5	Susut Sistem Barito		39,25		
6	Susut Sistem Mahakam		11,86		
7	Pelepasan Beban		-151,79		
Frekuensi Sistem					49.95 Hz

Realisasi Skema UFLS Penyulang yang bekerja saat terjadinya gangguan PLTU Indoeka Trip 2 Unit dapat dilihat pada Tabel 4.29 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2.

Tabel 4. 29 Realisasi Skema UFLS Penyulang Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2

No	Penyulang	Lepas Beban WBP (MW)	Tahap UFLS	Gardu Induk	Subsistem
1	MTL04	2,59	Tahap 1	Mantuil	Barito
2	MTL09	2,12	Tahap 1	Mantuil	Barito
3	SBR01	0,31	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
4	SBR03	1,43	Tahap 1	Seberang Barito	Barito
5	BRB05	1,6	Tahap 1	Barikin	Barito
6	TJG01	0,72	Tahap 1	Tanjung	Barito

7	PBN12	2,06	Tahap 1	Pangkalan Bun	Barito
8	SBU02	3,06	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
9	PGN01	0,09	Tahap 1	Parenggean	Barito
10	PGN04	2,15	Tahap 1	Parenggean	Barito
11	SLT06	2,59	Tahap 1	Selat	Barito
12	MTN03	0,25	Tahap 1	Mintin	Barito
13	ASM12	2,43	Tahap 1	Asam Asam	Barito
14	ASM13	1,9	Tahap 1	Asam Asam	Barito
15	ASM23	2,65	Tahap 1	Asam Asam	Barito
16	STB01	6,27	Tahap 1	Sei Tabuk	Barito
17	GTS03	1,6	Tahap 1	Bati Bati	Barito
18	GRT02	6	Tahap 1	Grogot	Mahakam
19	I09	3,8	Tahap 1	Industri	Mahakam
20	GRT04	1,5	Tahap 1	Grogot	Mahakam
21	T09	7,1	Tahap 1	Tengkawang	Mahakam
22	M05	4,8	Tahap 1	Muara Badak	Mahakam
23	CPK14	3,62	Tahap 2	Cempaka	Barito
24	CPK19	3,59	Tahap 2	Cempaka	Barito
25	KYT03	1,72	Tahap 2	Kayutangi	Barito
26	BDR02	1,47	Tahap 2	Bandara	Barito
27	BRB10	1	Tahap 2	Barikin	Barito
28	AMT02	5,11	Tahap 2	Amuntai	Barito
29	PRY06	1,15	Tahap 2	Palangkaraya	Barito
30	KSG01	2,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
31	KSG03	3,93	Tahap 2	Kasongan	Barito
32	PPS01	3,55	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
33	PPS03	1,62	Tahap 2	Pulang Pisau	Barito
34	STI02	2,43	Tahap 2	Satui	Barito
35	STI03	1,15	Tahap 2	Satui	Barito
36	BBT01	0,22	Tahap 2	Bati Bati	Barito
37	BBT06	2,18	Tahap 2	Bati Bati	Barito
38	GUL09	4,36	Tahap 2	GIS Ulin	Barito
39	TRS03	4,55	Tahap 2	Trisakti	Barito
40	NBA01	2,4	Tahap 2	New Balikpapan	Mahakam
41	P04	4,1	Tahap 2	Petung	Mahakam
42	LGS02	2,2	Tahap 2	Longikis	Mahakam
43	SNP03	3,6	Tahap 2	Senipah	Mahakam
44	H05	2,6	Tahap 2	Harapan Baru	Mahakam
45	E04	2	Tahap 2	Embalut	Mahakam
46	R02	6,1	Tahap 2	Bukit Biru	Mahakam

47	TLP02	5,4	Tahap 2	Teluk Pandan	Mahakam
51	TPN06	1,06	Tahap 3	Rantau	Barito
52	SLG02	1,88	Tahap 3	Tanjung	Barito
53	SMT06	4,74	Tahap 3	Sampit	Barito
56	SPT04	1,5	Tahap 3	Sampit	Barito
57	PGN02	1,65	Tahap 3	Parenggean	Barito
58	SLT04	4,74	Tahap 3	Selat	Barito
61	KRO04	1,4	Tahap 3	Kuaro	Mahakam
62	BYR01	3,9	Tahap 3	New Samarinda	Mahakam
63	TLP08	1,6	Tahap 3	Teluk Pandan	Mahakam
Total Pelepasan Beban		152,47			

Adapun untuk persentase realisasi skema UFLS masing-masing gardu induk dapat dilihat pada Tabel 4.30 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2 dimana pada tabel tersebut besarnya beban yang dilepas dibandingkan dengan beban total pada GI tersebut, sehingga nantinya akan dilihat kembali untuk kesesuaian beban untuk skema Island pada Sistem Interkoneksi apabila skema UFLS tersebut belum mengkompensasi hilangnya supply pada sistem saat terjadi gangguan penyaluran maupun gangguan pembangkitan.

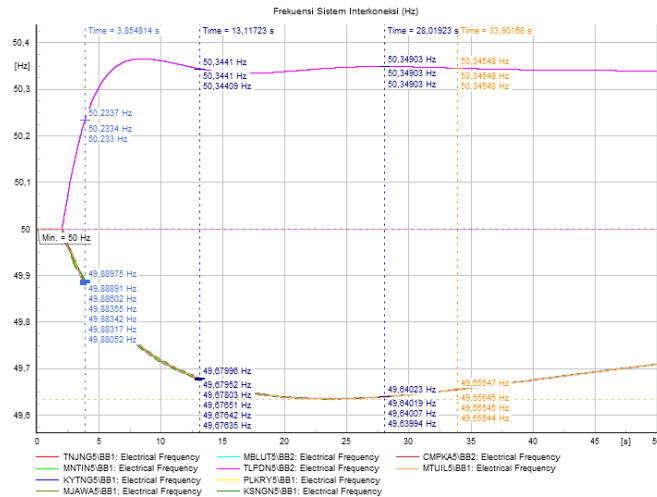
Tabel 4. 30 Persentase Realisasi Skema UFLS Masing Masing Gardu Induk Saat Trip PLTU Indoeka Unit 1 dan Unit 2

No	Gardu Induk	Lepas Beban WBP (MW)			Total Beban GI	Persentase		
		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3		Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
1	Mantuil	4,71			30,54	15%	0%	0%
2	Seberang Barito	1,74			13,10	6%	0%	0%
3	Barikin	1,60	1,00		23,11	5%	3%	0%
4	Tanjung	0,72		1,88	34,82	2%	0%	6%
5	Pangkalan Bun	2,06			25,60	7%	0%	0%
6	Sei Tabuk	9,33			15,65	31%	0%	0%
7	Parenggean	2,24		1,65	6,99	7%	0%	5%
8	Selat	2,59		0,00	24,12	8%	0%	0%
9	Mintin	0,25			4,11	1%	0%	0%
10	Asam Asam	6,98			11,15	23%	0%	0%
11	Bati Bati	1,60	2,40		13,67	5%	8%	0%
12	Industri	3,80		0,00	74,60	12%	0%	0%
13	Grogot	7,50			20,50	25%	0%	0%

14	Tengkawang	7,10			99,50	23%	0%	0%
15	Muara Badak	4,80			17,70	16%	0%	0%
16	Cempaka		7,21		63,81	0%	24%	0%
17	Kayutangi		1,72		21,51	0%	6%	0%
18	Bandara		1,47		13,80	0%	5%	0%
19	Amuntai		5,11		20,10	0%	17%	0%
20	Palangkaraya		1,15	0,00	42,22	0%	4%	0%
21	Kasongan		6,86		10,10	0%	22%	0%
22	Pulang Pisau		5,17		5,83	0%	17%	0%
23	Satui		3,58		22,78	0%	12%	0%
24	GIS Ulin		4,36		52,00	0%	14%	0%
25	Trisakti		4,55	0,00	55,76	0%	15%	0%
26	New Balikpapan		2,40		38,97	0%	8%	0%
27	Petung		4,10		15,20	0%	13%	0%
28	Longikis		2,20		5,77	0%	7%	0%
29	Senipah		3,60		14,82	0%	12%	0%
30	Harapan Baru		2,60		38,90	0%	9%	0%
31	Embalut		2,00		12,00	0%	7%	0%
32	Bukit Biru		6,10		12,00	0%	20%	0%
33	Teluk Pandan		5,40	1,60	12,00	0%	18%	5%
34	Pelaihari			4,80	25,06	0%	0%	16%
35	Rantau			1,06	26,20	0%	0%	3%
36	Sampit			2,56	36,87	0%	0%	8%
38	Kuaro			1,40	5,82	0%	0%	5%
39	New Samarinda			3,90	21,53	0%	0%	13%
Total Pelepasan Beban		57,02	72,98	18,85				

4.1.16. Hasil Pengujian Gangguan SUTT 150 kV Tanjung - Komam Saat Belum Terpasangnya Relay UFR

Selanjutnya dilakukan pengujian saat terjadi gangguan SUTT 150kV Tanjung – Komam, dimana Tanjung – Komam merupakan titik transfer antar Subsistem Barito dan Subsistem Mahakam. Idealnya transfer Tanjung – Komam dijaga pada batasan 50 MW baik itu Mahakam terima maupun Barito terima dimana transfer tersebut mengakomodir kebutuhan supply masing – masing sistem. Namun pada simulasi ini transfer antar subsistem berada pada nilai 30 MW. Frekuensi Sistem saat terjadi gangguan SUTT 150 kV Tanjung – Komam dapat dilihat pada Gambar 4. 16 Frekuensi Sistem Saat Terjadi Gangguan pada SUTT 150 kV Tanjung – Komam Tanpa Relay UFR.

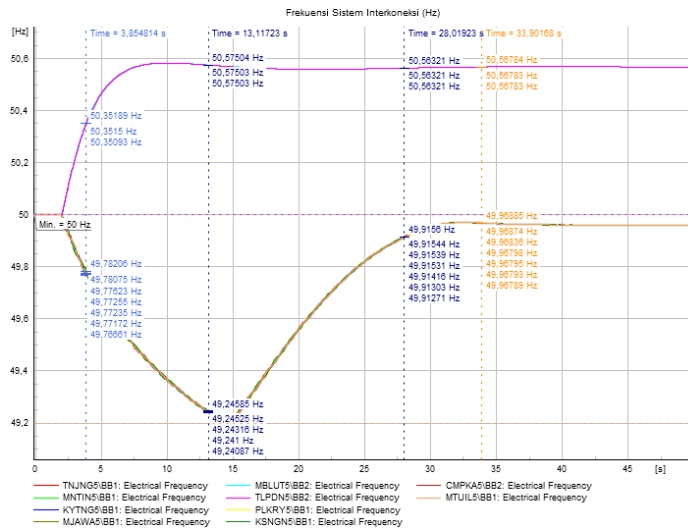


Gambar 4. 16 Frekuensi Sistem Saat Terjadi Gangguan pada SUTT 150 kV Tanjung – Komam Tanpa Relay UFR

Ketidakseimbangan sistem yang terjadi akibat gangguan SUTT 150 kV dapat dilihat bahwa terjadinya *splitting* sistem dimana Sistem Interkoneksi Kalimantan terbagi menjadi 2 Subsistem dimana Subsistem Mahakam dan Subsistem Barito berdiri sendiri. Frekuensi Sistem mengalami *splitting* dimana frekuensi Subsistem Mahakam berada pada rentang 50.3 Hz sedangkan frekuensi Subsistem Barito berada pada rentang 49.6 Hz, hal ini menandakan bahwa supply Subsistem Barito lebih kecil dibandingkan dengan beban sistemnya. Berkebalikan dengan Subsistem Barito, Subsistem Mahakam justru mengalami kelebihan supply dibandingkan dengan beban sistemnya.

4.1.17. Hasil Pengujian Gangguan SUTT 150kV Tanjung - Komam Saat Terpasangnya Relay UFR

Saat belum dipasangnya relay UFR, frekuensi sistem yang terjadi akibat gangguan SUTT 150 kV Tanjung – Komam pada Subsistem Barito akan terus berada pada rentang 49.6 Hz apabila tidak dilakukan pelepasan beban pada subsistem tersebut, maka dari itu relay UFR dipasang untuk mengembalikan frekuensi sistem kedalam batas aman sehingga nantinya dapat dilakukan sinkron kembali antar sistem pasca terjadinya *splitting*.



Gambar 4. 17 Frekuensi Sistem Saat Terjadi Gangguan pada SUTT 150kV Tanjung – Komam dengan Relay UFR

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa pelepasan beban dapat mengembalikan frekuensi kedalam rentang aman agar dapat dilakukannya sinkron kembali antar sistem. Pada sisi Subsistem Mahakam dapat dilihat bahwa masih tetap terjadinya frekuensi tinggi dikarenakan supply pembangkit berlebih pada sistem tersebut sehingga, diperlukan relay OFR (Over Frequency Relay) untuk mengakomodir frekuensi tinggi yang terjadi pada Subsistem Mahakam. Pada kali ini diperlukan pelepasan beban sebesar 25,05 MW untuk mengakomodir gangguan tersebut.

4.2. Analisa Hasil Uji

Skema pelepasan beban (*Load Shedding*) merupakan salah satu dari skema pertahanan (*defense scheme*) untuk menyelamatkan system dari terjadinya gangguan meluas akibat gangguan pada sistem pembangkitan maupun sistem penyaluran. Dari hasil uji dapat terlihat bahwa pelepasan beban bervariasi mengikuti dengan besarnya pembangkit yang keluar dari sistem. Formula pengurangan beban dapat dilihat dari persamaan 2.1 sehingga perhitungan pelepasan beban dapat dilihat sebagai berikut :

$$\Delta L = \frac{\Delta P}{(1+\Delta P)} \dots \dots \dots (2.1)$$

1. Untuk kehilangan pembangkit 200 MW :

$$\Delta L = \frac{200}{(1791,59)} \times 100 \%$$

$$\Delta L = 11,16 \% = 199,94 \text{ MW}$$

2. Untuk kehilangan pembangkit 180 MW :

$$\Delta L = \frac{180}{(1791,59)} \times 100 \%$$

$$\Delta L = 10,05 \% = 180,05 \text{ MW}$$

3. Untuk kehilangan pembangkit 160 MW :

$$\Delta L = \frac{160}{(1791,59)} \times 100 \%$$

$$\Delta L = 8,93 \% = 160 \text{ MW}$$

Hasil perhitungan dari rumus 2.1 dapat dilihat bahwa saat kehilangan pembangkit sebesar 200 MW maka dibutuhkan pelepasan beban sebesar 199,94 MW, saat kehilangan pembangkit sebesar 180 MW dibutuhkan pelepasan beban 180,05 MW, dan untuk kehilangan pembangkit 160 MW maka ideal dilakukan pelepasan beban sebesar 160 MW. Hasil perhitungan pelepasan beban sudah sesuai dengan prinsip dimana frekuensi nominal 50 Hz terjadi apabila besar beban pembangkitan sama dengan besar beban sistem.

Perbandingan antara perubahan beban terhadap perubahan frekuensi (d) pada system bervariasi dari 0,5 hingga 7 tergantung dari komposisi beban yang ada. Nilai d menggambarkan penurunan beban dari setiap 1% penurunan frekuensi. Pada hasil uji nilai pelepasan beban serta kembalinya frekuensi operasi stabil yang baru bervariasi bergantung pada kehilangan supply pada pembangkit serta titik lokasi gangguan. Nilai eksak d untuk sebuah sistem dapat ditentukan hanya dengan mengamati variasi beban dengan frekuensi pada sistem tersebut. Pada umumnya sistem memiliki $d = 2$ (yakni, 2% penurunan beban dari setiap 1% penurunan frekuensi).

Nilai frekuensi operasi stabil baru dapat dicari melalui persamaan 2.3 dimana nilai $d = 2$, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$f_f = f_o \left(1 - \frac{\Delta P}{d(1+\Delta P)} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

1. Untuk kehilangan pembangkit sebesar 200 MW :

$$f_f = 50 \left(1 - \frac{0,1163}{2(1791,59)} \right)$$

$$f_f = 50 \left(1 - \frac{0,1163}{3583,18} \right)$$

$$f_f = 50(1 - (0,0000325)) = 49,994 \text{ Hz (Frekuensi stabil hasil uji 49.84 Hz)}$$

2. Untuk kehilangan pembangkit sebesar 180 MW :

$$f_f = 50 \left(1 - \frac{0,1005}{2(1791,59)} \right)$$

$$f_f = 50 \left(1 - \frac{0,1005}{3583,18} \right)$$

$$f_f = 50(1 - (0,0000281)) = 49,996 \text{ Hz (Frekuensi stabil hasil uji 49.84 Hz)}$$

3. Untuk kehilangan pembangkit sebesar 160 MW :

$$f_f = 50 \left(1 - \frac{0,0893}{2(1791,59)} \right)$$

$$f_f = 50 \left(1 - \frac{0,0893}{3583,18} \right)$$

$$f_f = 50(1 - (0,0000249)) = 49,998 \text{ Hz (Frekuensi stabil hasil uji 49.89 Hz)}$$

Terdapat perbedaan pada hasil uji dan hasil perhitungan pengurangan beban. Hasil perhitungan pada persamaan 2.1 memperlihatkan dimana saat kehilangan pembangkit sebesar nilai tersebut maka dibutuhkan juga pelepasan beban senilai dengan hilangnya pembangkit pada sistem, sedangkan pada praktiknya pelepasan beban pada sistem bervariasi pada kondisi sistem dimana titik lokasi gangguan serta beban sistem yang dinamis memengaruhi skema pelepasan beban yang dibutuhkan sistem. Pada hasil perhitungan pada persamaan 2.3 dimana perhitungan frekuensi operasi stabil terlihat bahwa idealnya, frekuensi operasi stabil berada pada rentang 49.99 Hz dimana hal ini mendekati dengan frekuensi nominal yang bernilai 50 Hz. Hal ini juga disebabkan karena naiknya frekuensi tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh pelepasan beban dimana respon frekuensi juga dipengaruhi oleh respon pembangkit cepat yang terdapat pada sistem. Pada Sistem Interkoneksi Kalimantan respon pembangkit cepat terdapat pada Pembangkit Gas seperti PLTG Peaking, PLTG Tanjung Batu, PLTMG MPP Bontang, PLTMG Bangkanai, serta Pembangkit Hydro yakni PLTA PM Noor. Dalam praktiknya, pelepasan beban dikatakan baik apabila nilai beban yang dilepas tidak lebih besar dari nilai hilang pembangkit pada sistem. Untuk parameter frekuensi, sistem dapat dikatakan aman pasca terjadinya gangguan apabila frekuensi sudah berada pada rentang 49.50 Hz – 50.5 Hz yang selanjutnya ditindaklanjuti oleh pengaturan sekunder menggunakan AGC (*Automatic Governor Control*) serta pengaturan primer menggunakan PFC (*Primary Frequency Control*) untuk mengembalikan frekuensi pada 50 Hz serta apabila diperlukan pengatur operasi sistem dapat menggunakan cadangan daya (*reserve power*) pada pembangkit PLTG maupun PLTD yang ada pada sistem.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Skema pelepasan beban secara bertahap saat terjadi penurunan frekuensi pada sistem (*Under Frequency Load Shedding*) dengan menggunakan relay UFR (*Under Frequency Relay*) mampu menjadi skema pertahanan untuk menghindari gangguan meluas akibat gangguan pada sistem pembangkitan maupun sistem penyaluran pada Sistem Interkoneksi Kalimantan, sehingga pemulihan sistem apabila terjadi gangguan tidak memakan waktu yang lama dan frekuensi dapat kembali kedalam rentang nominal atau batas aman yakni pada rentang 49.5 Hz - 50.5 Hz.
2. Skema pelepasan beban saat hilang pembangkit pada Sistem Interkoneksi Kalimantan sebesar 160 MW – 200 MW bekerja hingga Tahap 3, dengan pelepasan beban berkisar antara 142 MW – 189 MW dimana titik terendah frekuensi saat hilang supply berkisar antar 48.88 Hz – 48.98 Hz. Skema pelepasan beban juga diperlukan saat terjadi gangguan yang mengakibatkan *splitting* Sistem Interkoneksi menjadi 2 subsistem dimana menyesuaikan kebutuhan sistem saat itu.
3. Skema pelepasan beban serta Skema Island Operation diperlukan untuk mengakomodir penurunan frekuensi apabila frekuensi masih mengalami penurunan lebih lanjut mampu mengakomodir kehilangan supply pembangkit apabila terjadi gangguan pada sistem pembangkitan maupun pada sistem penyaluran dimana frekuensi kembali pada batas aman yakni diatas 49.50 Hz.

5.2. Saran

Selama pengerjaan tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kelemahan. Baik itu pada sistem maupun pada simulasi yang telah dibuat. Untuk memperbaiki kekurangan - kekurangan dari simulasi, maka perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut:

- a. Perlunya dilakukan evaluasi kinerja UFR secara rutin setelah terjadi gangguan, untuk mengantisipasi gagalnya skema Load Shedding dan Island Operation, yang dapat mengakibatkan gangguan lebih meluas.
- b. Perlu dilakukannya pengembangan jaringan berupa looping pada Sistem Interkoneksi Kalimantan agar jalur evakuasi daya keluaran pembangkit tidak hanya pada satu jalur radial.
- c. Seiring terus berkembangnya sistem serta fasilitas penunjang operasi sistem yang ada, maka skema Load Shedding dan Island Operation ini perlu terus diperbarui dan dikembangkan agar keandalan sistem dapat terus ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, 1 ed., vol. 1. California: McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [2] R. Fatchurrahman, P. Herlambang, S. Hasisi, dan M. Adinda Rahma Satya, “*Island Stability Improvement Through Defense Scheme and Generation Control Parameters Optimization: Case Study in Central Kalimantan System*,” dalam *Proceedings of 2023 4th International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2023*, Denpasar, Bali: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Agu 2023.
- [3] D. Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, 1 ed., vol. 2. Jakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [4] W. Triyogo, A. Purnomoadi, M. H. Hatala, D. E. Prasetyo, Hamiruddin, dan Mastur, *Buku Pedoman Pemeliharaan Serandang Dan Pentanahan Gardu Induk (GI) Lampiran Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No. 0520-2.K/DIR/2014*. Jakarta: PLN Persero, 2014.
- [5] S. Suropto, *Sistem Tenaga Listrik*, 1 ed. Bantul, Yogyakarta: LP3M UMY, 2017.
- [6] C. Li dkk., “*Continuous Under-Frequency Load Shedding Scheme for Power System Adaptive Frequency Control*,” dalam *IEEE Transactions on Power Systems*, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Mar 2020.
- [7] J. Machowski, Z. Lubosny, J. W. Bialek, dan J. R. Bumby, *Power System Dynamics and Control*, 3 ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2020.
- [8] A. Richter dan M. Wolter, “*Under-Frequency Load Shedding in the European Interconnection System*,” dalam *IEEE*, Magdeburg: IEEE, Mei 2018.
- [9] Kelompok Kerja Standardisasi Sistem Defense scheme, “*SISTEM DEFENSE SCHEME Lampiran Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No.K/DIR/2022*,” Jakarta, 2022.
- [10] Y. Raharja, “*Analisis Pelepasan Beban (Load Shedding) Menggunakan Under Frequency Load Shedding (UFLS) Berdasarkan Standar IEEE Pada PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit VI Balongan*,” Thesis, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2022.
- [11] R. Amelia, “*Studi Pelepasan Beban Berbasis Under Frequency Relay Pada Sistem Tenaga Listrik*,” Universitas Tidar, Magelang, 2018.
- [12] R. Dicky, “*Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang Analisis Load Shedding Pada Sistem Kelistrikan Bali Akibat Lepasnya Kabel Laut Jawa-Bali 150 KV*,” Institut Teknologi Nasional, Malang, 2018.
- [13] S. Sofyar, “*Studi Skenario Load Shedding Pada Penyulang Dalam Operasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Under Frequency Relay*,” *Jurnal ELTIKOM*, vol. 4, no. 1, Akademi Teknik Pembangunan Nasional Banjarbaru, Banjarbaru : Jun 2020,
- [14] N. Nuswantara, W. G. Ariastina, dan A. A. N. Amrita, “*Studi Kestabilan Sistem dan Pelepasan Beban (Load Shedding) Berdasarkan Standar IEEE di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit IV*,” *Jurnal SPEKTRUM* Vol.4 No, 1, Universitas Udayana, Bali : Jun 2017.

- [15] W. Martiningsih, "Pelepasan Beban dengan *Under Frequency Relay* pada Sistem Distribusi PT. DSS Power," Seminar Nasional Teknik Elektro, Batu, Malang : Okt 2018.
- [16] M. Fadli, "Skema Automatic Under Frequency *Load Shedding* Pada Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat," Universitas Andalas, Padang, 2022.
- [17] F. Ariansyah, A. Priyadi, M. Pujiantara, dan J. T. Elektro, "Analisis Kestabilan Transien dan Pelepasan Beban Pada Sistem Integrasi 33 KV PT. Pertamina RU IV Cilacap akibat Penambahan Beban RFCC dan PLBC," *B19 Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 1, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya: 2016.
- [18] A. M. Arif, "Studi Skema Pelepasan Beban Menggunakan *Relai Rate Of Change Of Frequency* Pada Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat," Skripsi Teknik Elektro Universitas Andalas, Padang, 2024.
- [19] Volodymyr A. Lytvynchuk, Mykola I. Kaplin, dan Nickolai P. Bolotnyi, "*The Method of Design an Optimal Under-Frequency Load Shedding Scheme*," dalam *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)* vol. 6, Ukraine: 2019.
- [20] P. Zeng, S. Liu, L. Shi, M. Yang, D. Zhang, dan W. Yan, "A Contribution-factor Based Under-Frequency Load Shedding Scheme in a Regional Grid," dalam *Proceedings - 2022 7th Asia Conference on Power and Electrical Engineering, ACPEE 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., China: 2022.
- [21] A. Siswanto, "Design Load Frequency Control (LFC) Untuk Sistem Dua Area Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC)," *ILTEK*, vol. 12, no.1, Cirebon: Apr 2017.
- [22] N. A. Darmanto, "Pengaturan Frekwensi Sistem Tenaga Menggunakan Algoritma Genetik," *Jurnal Transien*, Vol.7 No. 1, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang : Mar 2018.
- [23] Melingga, A. Azi, dan I. Kartika, "Studi Pelepasan Beban Pada PLTU Keramasan Saat Terjadi Penurunan Frekuensi," *Jurnal Elekrika*, vol. 12, no. 2, Palembang: 2021.
- [24] V. T. Wahyuni¹, B. Puguh Manunggal, dan A. A. Melkias, "Analisis Setting *Speed Droop* Dan *Deadband Governoor* Unit 1 PLTA Maninjau Sebagai Pengaturan Frekuensi Pada Sistem 150 KV," *Jurnal Energi* Vol.11 No.2 Politeknik Negeri Bandung, Bandung: 2022.
- [26] D. Corio *dkk.*, "Perencanaan dan Operasi Sistem Tenaga Listrik", ITERA Press, Lampung Selatan: 2023.