

**ANALISIS PERBAIKAN STABILITAS TRANSIEN PADA
SISTEM KELISTRIKAN PT. LONTAR POPYRUS PULP
& PAPER PADA POWER PLANT DENGAN METODE
LOAD SHEDDING (PELEPASAN BEBAN)**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro



**MARTONO
M1A114002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2021

SURAT PERNYATAAN

“Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim”.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi,
Yang menyatakan,

Martono
M1A114002

**ANALISIS PERBAIKAN STABILITAS TRANSIEN PADA
SISTEM KELISTRIKAN PT. LONTAR POPYRUS *PULP*
& *PAPER* PADA *POWER PLANT* DENGAN METODE
LOAD SHEDDING (PELEPASAN BEBAN)**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro



**MARTONO
M1A114002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2021

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **ANALISIS PERBAIKAN STABILITAS TRANSIEN PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. LONTAR POPYRUS PULP & PAPER PADA POWER PLANT DENGAN METODE LOAD SHEDDING (PELEPASAN BEBAN)** yang disusun oleh **MARTONO, NIM : M1A114002** telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 22 September 2021 dan dinyatakan lulus.

Susunan Tim Penguji :

Ketua : Haerul Pathoni, S.PD., M.PFIS.
Sekretaris : Dasrinal Tessal, S.T., M.T.
Anggota : 1. Abdul Manab, S.T., M.T.
2. Samratul Fuady, S.T., M.T.
3. Oki Saputra, S.S.T., M.Eng.

Disetujui :

Pembimbing Utama,

Pembimbing pendamping

Haerul Pathoni, S.PD., M.PFIS.
NIP. 198511012012121001

Dasrinal Tessal, S.T., M.T.
NIP. 198512102019031007

Diketahui :

Dekan,

Ketua Jurusan,

Prof. Drs. Damris M, Msi., Ph.D
NIP. 196605191991121001

Nehru, S.Si., M.T.
NIP. 197802082001121002

RINGKASAN

PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry merupakan suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang usaha industri bubur kertas (*pulp*) dan *tissue*. Perusahaan ini membutuhkan kontinuitas penyediaan tenaga listrik yang baik. Namun sistem kelistrikan pada umumnya tidak terlepas dari gangguan, baik besar maupun kecil, dimana gangguan ini dapat bersifat sementara atau tetap. Sehingga perlu melakukan analisis stabilitas transien agar diketahui kehandalan sistem untuk melihat saat terjadi gangguan. Pada penelitian ini, analisis dilakukan meliputi kestabilan transien akibat terjadinya gangguan 3 fasa menggunakan metode kualitatif dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 16.0.0.

Berdasarkan simulasi liran daya pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry didapat data bus A disuplai tegangan sebesar 31,55 KV dengan daya sebesar 159,241 MW, bus B disuplai tegangan sebesar 31,56 KV dengan daya sebesar 144,642 MW, bus LPK54-FDR disuplai tegangan sebesar 148,38 KV dengan daya sebesar 61,848 MW dan bus PT PANEL disuplai tegangan 3,28 KV dengan daya sebesar 1,301 MW. Setelah aliran daya pada penelitian dilanjutkan dengan mensimulasikan kestabilan transien saat terjadi gangguan 3 fasa didapatkan data bahwa bus A, bus B dan bus PT PANEL mengalami drop tegangan sampai 0 kV, sehingga sistem kelistrikan tidak mengalami kestabilan.

Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan menambahkan metode pelepasan beban ketika terjadi gangguan 3 fasa didapatkan data Bus A membutuhkan waktu 6,049 detik untuk kembali ke keadaan stabil dengan tegangan 31,38 (95,09%) kV dan frekuensi 50 Hz. Pada bus kembali mencapai kestabilan membutuhkan waktu 26,107 detik dengan tegangan mengalami kenaikan dan penurunan di antara 3,19(96,56) – 3,25 kV (98,7) dengan frekuensi 43.9 Hz. Bus PT PANEL membutuhkan waktu 5,18 detik untuk kembali mencapai kestabilan dengan tegangan berada di antara 3,15 kV (95,35%)-3,28 kV (99,4%) dan frekuensi .49,2 Hz. LPK54-FDR membutuhkan waktu 18,6 detik untuk mencapai kestabilan kembali dengan tegangan berada di antara 143,1 kV (95,38 %) – 145,5 (97,01%). Sehingga dari data di atas dapat disimpulkan dengan menggunakan metode pelepasan beban, sistem kelistrikan pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry dapat kembali stabil ketika terjadi gangguan 3 fasa di bus A.

Kata Kunci : Stabilitas Transien, ETAP 16.0.0, Pelepasan Beban

RIWAYAT HIDUP



Martono lahir di Jambi Kecamatan Jelutung Kota Jambi Provinsi Jambi. Anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Sakiyo dan Cicah. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri 09/IV Jelutung, Kota Jambi dan lulus pada tahun 2007, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 5 Kota Jambi dan lulus pada tahun 2010, selanjutnya menempuh pendidikan di SMA Negeri 9 Kota Jambi dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2014 melanjutkan pendidikan di Universitas Jambi Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro dan Sistem Informasi Fakultas Sains dan Teknologi. Selama menempuh pendidikan penulis cukup aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik maupun non-akademik. Penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai organisasi kampus diantaranya Majelis Aspirasi Mahasiswa, Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO).

Akhir kata penulis mengungkapkan rasa syukur sebesar-besarnya atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “Analisa Perbaikan Stabilitas Transien Pada Sistem Kelistrikan PT. Lontar Papyrus Plup & Paper Pada Power Plant Dengan Metode Load Shedding (Pelepasan Beban)”. Semoga dengan penulisan skripsi ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan semestinya. Judul tugas akhir ini adalah “Analisa Perbaikan Stabilitas Transien Pada Sistem Kelistrikan PT. Lontar Papyrus Plup & Paper Pada Power Plant Dengan Metode Load Shedding (Pelepasan Beban)”.

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi syarat memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi. Didalam penulisan tugas ini akhir dan menjalani pendidikan di Jambi penulis banyak mendapat dukungan yang luar biasa dari berbagai pihak (UNTUK DIKENANG DI HARI TUA NANTI) oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Damris M, Msi., Ph.D selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Elektro Universitas Jambi
2. Bapak Haerul Pathoni, S.Pd., M.Pfis selaku dosen pembimbing utama
3. Bapak Dasrinal Tessel, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping
4. Bapak Nehru, S.Si.,M.T., selaku dosen pembimbing akademik dan ketua jurusan Teknik Elektro dan Sistem Informasi.
5. Bapak/Ibu Dosen beserta Staff pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi
6. Kedua orang tua, teman – teman, mbak dan abang yang selalu mendukung dan membantu saya dalam menyelesaikan Skripsi.

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	2
RINGKASAN	ii
RIWAYAT HIDUP	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I . PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
II LANDASAN TEORI	4
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	4
2.2 Klasifikasi Kestabilan	10
2.3 Pelepasan Beban	13
2.4 ETAP (<i>Electric Transient Analysis Program</i>)	15
2.5 Standar yang digunakan untuk analisis kestabilan transien	23
III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Sistem pembangkitan listrik PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.3 Alat.....	26
3.4 Metode Penelitian	27
3.5 Tahapan simulasi.....	28

IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Aliran Daya PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry	30
4.2 Kestabilan Transien PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry...	32
4.3 Kestabilan Transien PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry setelah menggunakan pelepasan beban (<i>load shedding</i>)	38
V PENUTUP	43
5.1 KESIMPULAN.....	43
5.2 SARAN	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Sistem Tenaga Listrik	4
2. Tujuan Operasi Sistem Tenaga Listrik	6
3. Proses Penyediaan Tenaga Listrik (Marsudi, 2011)	6
4. Proses Penyediaan Listrik bagi konsumen (Marsudi, 2011).....	7
5. Kestabilan sistem tenaga.....	11
6. Hasil simulasi load flow.....	23
7. Standar Frekuensi yang digunakan adalah standar untuk Steam Turbin Generator (IEEE Std C37.106-2003)	24
8. Definisi Voltage Magnitude Event berdasarkan standar IEEE 1195 - 1995	24
9. Tahapan melakukan simulasi penelitian.....	28
10. Single line diagram kelistrikan PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry.....	30
11. Kecepatan putar generator Turbin Uap 1 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	33
12. Kecepatan putar generator Turbin Uap 2 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	33
13. Kecepatan putar generator Turbin Uap 3 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	34
14. Kecepatan putar generator Turbin Uap 4 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	34
15. Kecepatan putar generator Turbin Uap 5 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	34
16. Kecepatan putar generator Turbin Uap 6 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	34
17. Kecepatan putar generator Turbin Uap 27 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	35
18. Kecepatan putar generator Turbin Uap 28 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	35
19. Frekuensi di Bus B saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A	35
20. Frekuensi di Bus LPK45-FDR saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A.....	35
21. Frekuensi di Bus PT PANEL saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A.....	36
22. Tegangan pada bus A saat terjadi gangguan 3 fasa.	36

23.	Tegangan pada bus B saat terjadi gangguan 3 fasa.	37
24.	Tegangan pada bus LPK54-FDR saat terjadi gangguan 3 fasa.....	37
25.	Tegangan pada bus PT PANEL saat terjadi gangguan 3 fasa.	37
26.	Frekuensi Bus A saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.	37
27.	Tegangan Bus A saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.	38
28.	Frekuensi Bus B saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.	38
29.	Tegangan Bus B saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.	39
30.	Frekuensi Bus LPK54-FDR saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.....	39
31.	Tegangan Bus LPK54-FDR saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.....	40
32.	Frekuensi Bus PT PANEL saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A pelepasan beban.	40
33.	Tegangan Bus PT PANEL saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A pelepasan beban.	41
34.	Tegangan Bus PT PANEL saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A pelepasan beban.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Data generator PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry.....	26
2	Data beban simulasi pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry	30
3	Data transformator simulasi pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry	31
4	Data simulasi aliran daya pada bus	32
5	Data simulasi aliran daya pada generator.....	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat keterangan dari PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry.....	45
2. Single Line Diagram PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry.....	46
3. Tangkapan layar single line diagram PT. Lontar Papyrus Pulp & Papyrus di ETAP 16.0.0	47
4. Tangkapan layar simulasi load flow (aliran daya) PT. Lontar Papyrus Pulp & Papyrus.....	47
5. Data generator di aplikasi etap.....	50
6. Data trafonsformator di aplikasi etap.....	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat terjadi penambahan kapasitas pembangkit dengan daya cukup besar atau beban dengan kapasitas yang besar hilang dari suatu sistem atau terjadi gangguan pada saluran transmisi, stabilitas sistem kelistrikan harus cukup kuat untuk dapat mempertahankan diri terhadap perubahan beban yang relatif besar, dimana perubahan ini akan memiliki dampak pada keseimbangan sistem tenaga listrik. Ketidakseimbangan akan menjadi penyebab adanya perubahan pada kestabilan sistem terutama kestabilan frekuensi, kestabilan tegangan dan kestabilan sudut rotor. Menurut Firdaus, 2016 “karena kestabilan di kelistrikan industri berkaitan dengan kemampuan sistem dalam mempertahankan kondisi kestabilan sehingga peralatan dapat bekerja dengan baik dan memiliki efisiensi tinggi, jadi perlu dilakukan adanya penanganan khusus untuk menjaga sistem tetap dalam keadaan stabil saat terjadi gangguan, salah satunya yaitu mekanisme pelepasan beban atau *load shedding*”. Masalah Energi listrik adalah energi sekunder yang banyak dimanfaatkan di berbagai sektor, seperti industri, perhotelan, pertanian dan lain sebagainya. Pada sektor industri sangat banyak digunakan mesin-mesin dan berbagai macam peralatan listrik yang memerlukan input daya listrik dengan kapasitas besar. Oleh karena itu, kualitas listrik yang baik haruslah dipenuhi agar kebutuhan konsumen terpenuhi.

Sistem tenaga listrik memiliki berbagai masalah salah satu masalah dalam sistem tenaga listrik adalah kestabilan. Dalam pengertiannya stabilitas sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serentak dalam sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta kembali ke keadaan semula bila keadaan menjadi normal. Sebagai contoh hal yang sangat mempengaruhi stabilitas dari sistem kelistrikan pada industri adalah gangguan hubung singkat. Ketika pada suatu sistem tenaga listrik terjadi gangguan maka kemampuan dari sistem tersebut untuk dapat kembali secara normal saat kondisi operasi dikenal sebagai kestabilan sistem tenaga listrik. Saat perencanaan, pengembangan dan juga pengoperasian sistem yang andal, perlu dilakukan suatu studi tentang kestabilan dari sebuah sistem kelistrikan itu sendiri. Riset ini membahas tentang studi *transient stability* (stabilitas peralihan), menyangkut kemampuan sistem untuk tetap dalam keadaan normal setelah terjadi gangguan yang besar secara tiba tiba, berupa gangguan 3 fasa.

PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry merupakan suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang usaha industri bubur kertas (*pulp*) dan *tissue*. Pada

proses produksi pulp meliputi beberapa plant, yaitu *chipping, cooking, washing, bleaching, screening plant, dewatering water, drying plant, pulp sheet cutting & balling line*. Dalam penyediaan tenaga listrik, PT. Lontar Papyrus Pulp & paper Industry berupaya mengelola sumber pembangkitan listrik secara mandiri. Perusahaan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 160 MW. Proses pembangkitan dan sistem kelistrikan ditangani oleh *power plant*.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian berupa "Analisa Stabilitas Transien pada Sistem Kelistrikan "PT. Lontar Papyrus *Pulp & Paper Industry* ". Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan bagi perusahaan untuk mengatasi masalah stabilitas transien.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menganalisis aliran daya pada sistem kelistrikan PT. Lontar Papyrus *Pulp & Paper Industry* di *power plant*.
2. Bagaimana memperbaiki kestabilan transien sistem kelistrikan dengan menggunakan *load shedding* pada *power plant* PT. Lontar Papyrus *Pulp & Paper Industry*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini batasan masalah sebagai berikut :

1. Stabilitas sistem tenaga listrik yang dibahas adalah stabilitas transien.
2. Variabel yang dicari terkonsentrasi pada frekuensi dan tegangan pada gangguan sistem tenaga listrik.
3. Gangguan yang diberikan berupa gangguan 3 fasa pada gangguan sistem tenaga listrik.
4. Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Agar mengetahui aliran daya PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry.
2. Mengetahui kondisi sistem stabilitas transien menggunakan *load shedding* sistem tenaga listrik PT. Lontar papyrus *Pulp & Paper Industry*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberi manfaat antara lain :

1. Sebagai syarat untuk menyelesaikan tugas akhir dan memperdalam ilmu perbaikan gangguan sistem stabilitas transien dengan menggunakan metode *load shedding*.

2. Penelitian ini ditujukan untuk mahasiswa dan sebagai pembelajaran bagi adik tingkat terkhusus pada materi stabilitas transien.
3. Sebagai rujukan PT. Lontar Papyrus *Pulp & Paper Industry* dalam memperbaiki keandalan sistem tenaga listriknya.

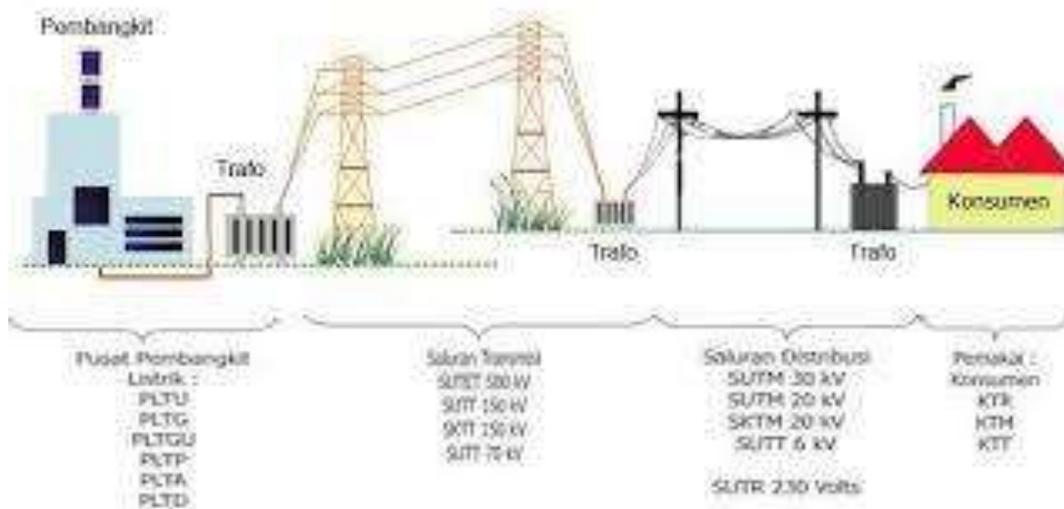
II LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikategorikan menjadi 3 bagian utama, antara lain:

- a) Pembangkit tenaga listrik,
- b) Penyaluran tenaga listrik
- c) Distribusi tenaga listrik

Sistem tenaga listrik modern adalah sistem yang sangat kompleks terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi dengan fungsi sebagai penyalur daya dari pusat pembangkit ke pusat beban. Dalam memenuhi tujuan operasi suatu sistem tenaga listrik, ketiga bagian yakni pembangkit, penyaluran dan distribusi tersebut satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 1. Diagram Sistem Tenaga Listrik (docplayer.info)

Energi listrik dihasilkan oleh suatu pembangkit tenaga listrik, lalu disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian didistribusikan ke beban. Sistem tenaga listrik sering pula hanya disebut dengan sistem tenaga, bahkan kadang kala cukup hanya dengan sistem. Penamaan suatu sistem tenaga listrik biasanya menggunakan daerah yang dilistriki.

A. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit listrik berfungsi mensuplai tenaga listrik ke dalam sistem tenaga listrik yang terdiri dari generator dan penggerak mula, adapun penggerak mula berupa mesin pemutar poros generator yang berfungsi untuk merubah suatu bentuk energi menjadi energi mekanik. Penggerak mula memiliki jenis yang bermacam-macam, sesuai dengan sumber

tenaga yang menghasilkan gerak tersebut antara lain :

- 1) Mesin diesel,
- 2) Turbin air,
- 3) Turbin gas,
- 4) Turbin uap,
- 5) Kincir angin, dan lain sebagainya.

Tenaga listrik diperoleh dari generator arus bolak balik (AC) dengan frekuensi tertentu. Frekuensi kelistrikan biasanya terdapat 2 yaitu 50 Hz atau 60 Hz. Generator pada sistem tenaga listrik di Indonesia menggunakan frekuensi 50 Hertz (Hz), dengan kapasitas yang bervariasi dari beberapa ratus MegaWatt (KW) maupun ratus KiloWatt (KW).

Pembangkit-pembangkit pada suatu sistem tenaga listrik dibagi dalam 2 kelompok besar , yaitu kelompok pembangkit listrik termal dan kelompok pembangkit listrik tenaga air atau hidro. Pembangkit listrik termal dapat berupa Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) , dan sebagainya (Marsudi, 2011).

B. Tujuan Operasi Sistem Tenaga Listrik

Tujuan utama dari operasi suatu sistem tenaga listrik ialah untuk memenuhi kebutuhan beban listrik secara efisien (beban terpenuhi dengan biaya yang minimum), dengan tetap mempertimbangkan sasaran operasi tenaga listrik yaitu sistem harus dapat memenuhi standar dalam keamanan lingkungan, memiliki keandalan yang baik, serta dapat melayani permintaan secara berkala dari waktu ke waktu.

Dalam upaya tercapainya tujuan dari operasi sistem tenaga listrik, maka sangat perludi perhatikan hal berikut ini , yaitu :

1. Ekonomi (*Economy*)

Ekonomi berarti listrik harus dioperasikan secara seekonomis mungkin, namun dengan tetap memperhatikan keandalan dan kualitasnya.

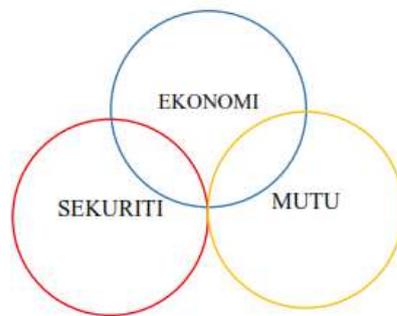
2. Keandalan (*Security*)

Keandalan merupakan tingkat kemanan sistem terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Sedapat mungkin gangguan di pembangkit maupun transmisi dapat diatasi tanpa terjadinya pemadaman disisi konsumen.

3. Kualitas (*Quality*)

Kualitas tenaga listrik yang diukur dengan kualitas tegangan dan frekuensi yang dijaga sedemikian rupa sehingga tetap pada kisaran yang ditetapkan.

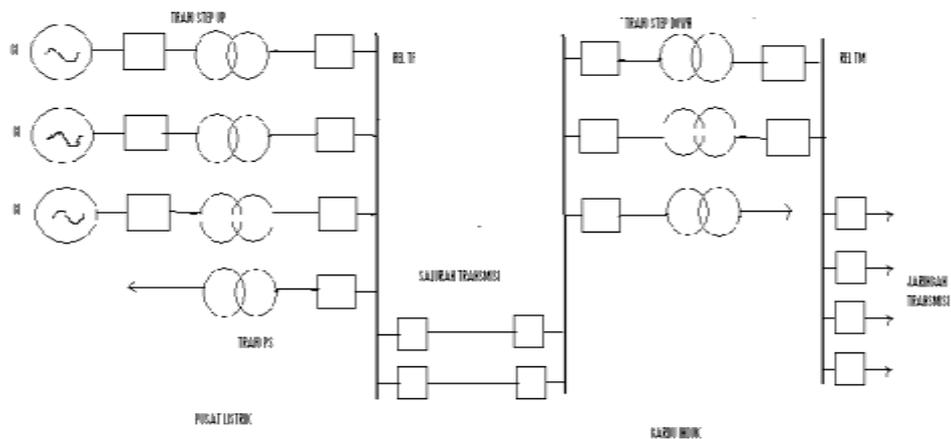
Berikut ini merupakan gambaran dari tujuan operasi suatu sistem tenaga listrik, dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



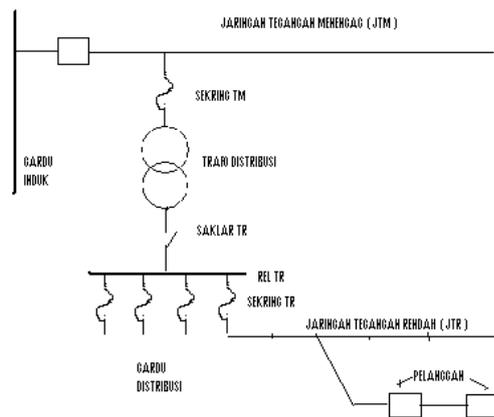
Gambar 2 Tujuan Operasi Sistem Tenaga Listrik

C. Proses Penyediaan Tenaga Listrik

Setelah tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat listrik, maka tenaga listrik tersebut disalurkan (ditransmisikan), lalu didistribusikan kepada konsumen tenaga listrik. Proses Penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen ini secara singkat diperlihatkan pada Gambar 2.4. Gambar 2.4 adalah salah satu bagian dari sistem inter-koneksi yang diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 3 Proses Penyediaan Tenaga Listrik (Marsudi, 2011)



Gambar 4 Proses Penyediaan Listrik bagi konsumen (Marsudi, 2011)

Dalam pusat listrik energi primer dikonversikan menjadi energi listrik. Kemudian energi listrik ini dinaikkan tegangannya untuk disalurkan melalui saluran transmisi. Tegangan transmisi yang digunakan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yaitu 70 KV, 150 KV, 275 KV, dan 500 KV. Beberapa perusahaan swasta di Indonesia menggunakan variasi tegangan transmisi 110 KV, 220 KV, hingga 230 KV yang dapat berupa saluran udara atau saluran kabel tanah. Setelah itu disalurkan melalui gardu induk yang mana tegangan akan diturunkan dan di distribusikan secara primer. Tegangan distribusi primer yang digunakan PLN adalah 20 KV dan perusahaan swasta menggunakan 13,8 KV. Dari gardu induk, energi di distribusikan melalui penyulang- penyulang distribusi dan gardu induk penyulang distribusi untuk kemudian di salurkan ke sambungan rumah (SR) melalui jaringan tegangan rendah yang dibatasi dengan menggunakan APP (Alat Pembatas dan Pengukur) (Marsudi, 2011).

Beberapa perusahaan swasta di Indonesia menggunakan variasi tegangan transmisi 110 KV, 220 KV, hingga 230 KV yang dapat berupa saluran udara atau saluran kabel tanah. Setelah itu disalurkan melalui gardu induk yang mana tegangan akan diturunkan dan di distribusikan secara primer. Tegangan distribusi primer yang digunakan PLN adalah 20 KV dan perusahaan swasta menggunakan 13,8 KV. Dari gardu induk, energi di distribusikan melalui penyulang- penyulang distribusi dan gardu induk penyulang distribusi untuk kemudian di salurkan ke sambungan rumah (SR) melalui jaringan tegangan rendah yang dibatasi dengan menggunakan APP (Alat Pembatas dan Pengukur) (Marsudi, 2011).

- a. Agar diketahui daya aktif dan reaktif tiap pembangkit,
- b. Agar diketahui besar tegangan dan sudut phase pada setiap bus,

- c. Agar diketahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada setiap komponen tenaga listrik (penghantar dan transformator).

Oleh karena itu dalam studi aliran daya perlu dilakukan suatu proses perhitungan yang sistematis melalui model jaringan dan persamaan aliran daya. Berdasarkan hukum kirchoff untuk arus, maka besar arus yang masuk dan keluar dari suatu titik simpul sama dengan nol.

$$I_i = \sum Y_{ij} \cdot V_j \dots\dots\dots(2.1)$$

dalam bentuk matriks :

$$[I_i] = [Y_{ij}] \cdot [V_j] \dots\dots\dots(2.2)$$

elemen dari Y_{ij} adalah :

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} = |Y_{ij}| (\cos \theta_{ij} + j \sin \theta_{ij}) \dots\dots\dots (2.3)$$

tegangan pada bus i dalam bentuk polar adalah :

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i = |V_i| (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \dots\dots\dots(2.4)$$

dan tegangan pada bus j adalah :

$$V_j = |V_j| \angle \delta_j = |V_j| (\cos \delta_j + j \sin \delta_j) \dots\dots\dots(2.5)$$

daya aktif dan reaktif pada bus i adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^* \dots\dots\dots(2.6)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan mensubstitusikan persamaan 2.7 ke persamaan 2.1

$$P_i - jQ_i = V_i \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j^* ; i = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(2.8)$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat dilihat bahwa persamaan aliran daya bersifat tidak linier dan penyelesaiannya adalah dengan menggunakan metode iterative. Menggunakan metode Newton Raphson dapat digunakan untuk menyelesaikan daya karena lebih cepat mencapai konvergen tanpa mengabaikan nilai resistansi dari jaringan (J. Duncan Glover, 2008).

D. Metode Newton Raphson

Metode Newton Raphson dapat digunakan untuk melakukan penyelesaian persamaan aliran daya pada persamaan (2.8), untuk menyelesaikan fungsi $f(x) = K$. Di dalam metode newton, x awal disebut dengan x^0 . Galat (error) merupakan selisih antara nilai K dengan $f(x^0)$, yang disebut dengan ε , sehingga :

$$f(x^0) + \varepsilon = K \dots\dots\dots (2.9)$$

agar nilai kesalahan ε mendekati nol digunakan metode ekspansi Taylor.

$$f(x^0) + \frac{df(x^0)}{dx} \Delta x + \varepsilon = K \quad (2.10)$$

Agar ε menjadi nol,

$$\Delta x = \left(\frac{df(x^0)}{dx} \right)^{-1} [K - f(x^0)] \dots\dots\dots(2.11)$$

Persamaan aliran daya yang merupakan fungsi tidak linier diselesaikan dengan metode Newton Raphson. Bila persamaan hukum arus Kirchoff untuk persamaan (2.1) dituliskan dalam bentuk polar, maka :

$$I_i = \sum |Y_{ij}V_j| \angle(\theta_{ij} + \delta_j) \quad (2.12)$$

daya kompleks pada bus i adalah :

$$P_j - j Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |Y_{ij}V_j| \angle(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \dots\dots\dots (2.13)$$

daya aktif pada bus i :

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |Y_{ij}V_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \dots\dots\dots (2.14)$$

daya reaktif pada bus i :

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |Y_{ij}V_j| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : P_i = daya aktif pada bus

P_j =daya aktif di bus j

Q_i = daya reaktif pada bus i

V_i =tegangan pada bus i

δ_j =sudut fasa pada bus j

V_j = Tegangan pada bus j

θ_{ij} = sudut tegangan dari bus i sampai bus j

Y_{ij} =Admitansi dari bus i sampai bus j

Persamaan tidak linier di atas dapat diselesaikan dengan menggunakan matriks Jacobian. Matriks Jacobian merupakan turunan partial dari persamaan (2.11) dan (2.12) terhadap sudut $\delta^{(k)} |V^k|$ dalam bentuk sederhana dapat ditulis :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{(i)} \\ \Delta Q_{(i)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1_{(i)} & J21_{(i)} \\ J31_{(i)} & J4_{(i)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_{(i)} \\ \Delta V_{(i)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

Elemen dari matriks Jacobain untuk $n \neq k$

$$J1_{ij} = \frac{\partial P_{(i)}}{\partial \delta_{(j)}} = V_i Y_{ij} V_j \sin(\theta_i - \delta_j - \delta_i) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$J2_{ij} = \frac{\partial P_{(i)}}{\partial V_{(j)}} = V_i Y_{ij} V_j \cos(\theta_i - \delta_j - \delta_i)$$

$$J3_{ij} = \frac{\partial Q_{(i)}}{\partial \delta_{(j)}} = -V_i Y_{ij} V_j \cos(\theta_i - \delta_j - \delta_i)$$

$$J4_{ij} = \frac{\partial Q_{(i)}}{\partial V_{(j)}} = V_i Y_{ij} V_j \sin(\theta_i - \delta_j - \delta_i)$$

Untuk $n=k$

$$J1_{ij} = \frac{\partial P_{(i)}}{\partial \delta_{(j)}} = V_i \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j \sin(\theta_i - \delta_j - \delta_i) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$J2_{ij} = \frac{\partial P_{(i)}}{\partial V_{(j)}} = V_i Y_{ii} \cos \theta_{ij} + \sum_{n=1, n \neq i}^N Y_{in} V_n \cos(\theta_i - \delta_j - \delta_i)$$

$$J3_{ij} = \frac{\partial Q_{(i)}}{\partial \delta_{(j)}} = V_i \sum_{j=1, j \neq i}^N Y_{ij} V_j \cos(\theta_i - \delta_j - \delta_i)$$

$$J_{4_{ij}} = \frac{\partial Q(i)}{\partial V(j)} = -V_i Y_{ii} \sin \theta_{ii} + \sum_{n=1}^N Y_{ij} V_j \sin (\theta_i - \delta_j - \delta_i)$$

Dimana Y_{ij} =Admitansi dari bus i sampai bus j

V_i =Tegangan pada bus i

Y_{ii} =Admitansi pada bus i

V_j =Tegangan pada bus j

θ_i = Sudut tegangan pada bus i

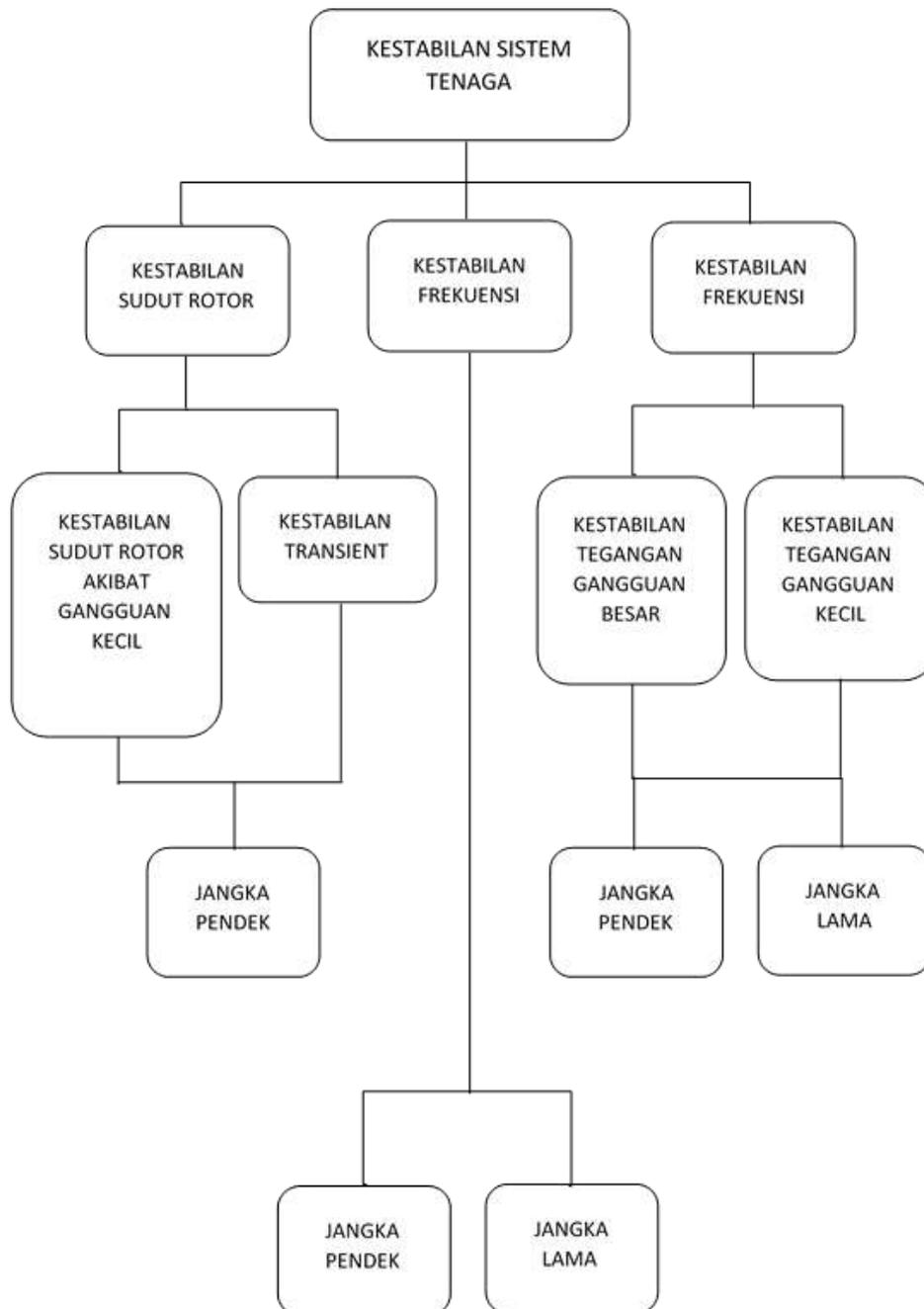
δ_j = Sudut fasa pada bus j

δ_i = Sudut fasa pada bus i

2.2 Klasifikasi Kestabilan

Berdasarkan referensi dari paper *IEEE Transaction On Power Systems* dengan judul *Definition of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga dikategorikan menjadi tiga yaitu :

- a) Kestabilan Frekuensi
- b) Kestabilan Sudut Rotot
- c) Kestabilan Tegangan



Gambar 5. Kestabilan sistem tenaga

A. Kestabilan Frekuensi

Menurut Firdaus Ariansyah, 2016 “Kestabilan frekuensi merupakan salah satu faktor dalam menentukan parameter kestabilan pada sistem tenaga listrik. Ketidakseimbangan antara aliran daya pada sistem dan juga beban dapat menyebabkan adanya gangguan kestabilan. Hal ini harus dicegah untuk terjadinya penurunan dari frekuensi dan hilangnya sinkronisasi pada sistem. Sistem tenaga listrik dikatakan handal ketika mampu mempertahankan kestabilan frekuensi ketika terjadi gangguan yang sangat besar. Gangguan seperti *short circuit* di jaringan dan juga penyalaan motor besar adalah contoh gangguan yang mampu mengganggu masalah kestabilan di sisi frekuensi”.

Ketidakmampuan dari merespon peralatan proteksi, kurangnya cadangan daya saat terjadi fluktuasi kenaikan beban juga memiliki kaitan erat dengan permasalahan dari kestabilan frekuensi. Klasifikasi dari kestabilan frekuensi dibagi menjadi 2 yaitu untuk jangka panjang dan juga untuk jangka pendek.

1. Kestabilan Frekuensi jangka panjang

Fenomena untuk jangka panjang terjadi biasanya dikarenakan respon dari kontrol governor tidak bekerja saat terjadi gangguan besar. Governor sangat berperan penting dalam menambah maupun mengurangi kapasitas bahan bakar saat sistem merespon suatu penurunan maupun ketika terjadinya frekuensi naik dari nominalnya.

2. Kestabilan Frekuensi jangka pendek

Perubahan yang berfluktuasi pada sisi beban dapat menjadi penyebab generator tidak mampu memenuhi kebutuhan suplai daya di sistem sehingga cadangan daya sangatlah penting untuk mencegah terjadinya sistem mati total. Pemutusan saluran pada sistem sehingga membuat beberapa dari sistem tersebut menjadi kondisi *islanding* juga mampu mempengaruhi frekuensi pada sistem yang terputus tersebut karena suplai daya berkurang untuk memenuhi kebutuhan beban tersebut.

B. Kestabilan Sudut Rotor

Dalam kondisi sistem yang stabil dimana mesin bergerak serentak pada operasi normal atau ketika terjadi gangguan akan timbul perbedaan sudut rotor antar mesin. Dimana saat gangguan ini tidak segera dihilangkan mesin akan hilang sinkron dengan sistem sehingga dapat menyebabkan sistem mati total. Kestabilan sudut rotor merupakan salah satu faktor dalam mengetahui tentang kestabilan di sistem dimana terdapat keseimbangan antara *prime mover* pada mekanik dan juga torsi elektrik pada sisi beban. Saat dari sisi torsi elektrik lebih berat dimana akan penyebab generator terbebani sehingga putaran pada rotor akan mengalami pengurangan. Saat salah satu generator berputar lebih cepat

daripada generator lainnya akan terjadi perbedaan sudut yang dihasilkan antara mesin yang bergerak lambat dengan mesin yang cepat. Daya output pada generator berubah sesuai dengan bebannya dari putaran rotor (Firdaus Ariansyah, 2016).

Kestabilan sudut rotor dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, antara lain :

1. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil.

Kestabilan sudut rotor terjadi akibat gangguan kecil terjadi dikarenakan kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi damping. Kasus ini dapat dilihat respon ketika sistem terkena gangguan dalam kurun waktu 10 – 20 detik setelah gangguan.

2. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar atau kestabilan transien

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan yang besar contohnya saat terjadi gangguan *short circuit* yang menjadi penyebab terjadinya penyimpangan pada sudut rotor dari generator. Pada kestabilan transien diamati dalam kurun waktu yang sangat cepat untuk melihat respon dari sistem saat terkena gangguan yaitu dalam waktu 3-5 detik. Respon dari kestabilan transien sangat bergantung pada saat kondisi missal dari sistem dan juga besarnya gangguan.

2.3 Pelepasan Beban

Pelepasan beban merupakan salah satu fenomena yang terjadi di suatu sistem tenaga listrik yang memungkinkan adanya beberapa beban keluar dari sistem sehingga terjadinya kestabilan sistem tenaga listrik. Hal ini biasanya disebabkan oleh beban lebih pada sistem, sehingga perlu dilakukan pelepasan beberapa beban tertentu untuk dapat mengembalikan kondisi sistem seperti sediakala. Adanya ketidaknormalan yang disebabkan karena terjadinya beban lebih pada umumnya dipicu oleh beberapa hal, yaitu:

- a. Dikarenakan pembangkit lepas dari sistem sehingga beban yang seharusnya disuplai oleh pembangkit tersebut menjadi tanggungan pembangkit lainnya.
- b. Terjadinya gangguan pada saluran transmisi sehingga ada beberapa beban yang tidak dapat disuplai oleh salah satu pembangkit dalam sistem interkoneksi.

1. Syarat pelepasan beban

Pelepasan beban dilakukan secara bertahap dengan tujuan agar apabila pada pelepasan tahap pertama frekuensi belum juga pulih masih dapat dilakukan pelepasan beban tahap berikutnya untuk memperbaiki frekuensi. Sebelum dilakukan suatu pelepasan beban yang bertujuan untuk pemulihan frekuensi, hendaknya pelepasan beban ini memenuhi kriteria antara lain :

- a. Jumlah beban yang dilepaskan hendaknya seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik dalam memperbaiki frekuensi.
- b. Beban yang dilepaskan merupakan beban yang memiliki prioritas paling rendah dibandingkan beban lain dalam suatu sistem tenaga listrik. Oleh karena itu seluruh beban perlu dilakukan pengklasifikasian menurut kriteria-kriteria tertentu.
- c. Pelepasan beban harus dilakukan tepat guna.

2. Prioritas beban

Pada suatu sistem tenaga “listrik terdiri dari berbagai macam beban. Beban tersebut dapat berupa motor induksi atau penerangan. Dengan dilakukan pelepasan diharapkan dapat memperbaiki frekuensi secara cepat, agar tidak banyak membuat rugi pengguna”. Oleh karena itu, beban-beban yang disuplai generator sebaiknya diurutkan menurut parameter – parameter sebagai berikut :

- a. Sensitif terhadap kegiatan perekonomian
- b. Tingkat kesulitan pengasutan
- c. Daya yang dibutuhkan

Pertimbangan yang juga harus “dilepaskan salah satunya apakah beban tersebut sensitif terhadap kegiatan perekonomian, misalnya di suatu perusahaan minyak dan gas beban yang tidak sensitif terhadap kegiatan usaha merupakan rumah tinggal dan penginapan. Sedangkan beban yang sangat sensitif terhadap kegiatan perekonomian seperti motor – motor listrik untuk eksplorasi. Parameter yang lain adalah tingkat kesulitan pengasutan beban yang dipilih untuk dilepas adalah beban yang dapat dengan mudah dihubungkan lagi ke sistem saat sistem telah bekerja normal. Parameter yang ketiga adalah daya yang diserap beban, dalam upaya memenuhi kebutuhan beban yang akan dilepaskan terlebih dahulu dilakukan pertimbangan besar beban yang harus dilepaskan. Setelah didapatkan perkiraan beban tersebut, maka dipilihlah” beban yang sesuai dengan kebutuhan.

3. Pelepasan beban akibat penurunan frekuensi

Pelepasan beban akibat penurunan frekuensi diklasifikasikan menjadi dua macam berdasarkan laju penurunannya, antara lain:

1. Pelepasan beban manual

Pelepasan beban manual dilakukan saat laju penurunan frekuensi sangat rendah. Sehingga untuk memperbaiki frekuensi tidak dibutuhkan waktu cepat karena sistem dirasa aman untuk jangka waktu yang cukup lama. Pelepasan beban secara manual ini akan membutuhkan beberapa operator yang cukup banyak. Waktu yang dibutuhkan pun cukup lama bila dibandingkan dengan pelepasan beban otomatis.

2. Pelepasan beban otomatis

Pelepasan beban otomatis dilakukan saat laju penurunan frekuensi cukup tinggi. Dengan dilakukan pelepasan beban secara otomatis maka sistem secara keseluruhan dapat diselamatkan dengan cepat tanpa harus menunggu operator bekerja. Pelepasan beban otomatis biasanya didukung dengan beberapa komponen seperti menggunakan *Under Frequency Relay*.

Pelepasan beban yang dilakukan akibat perubahan frekuensi selain untuk menghindari terjadinya pemadaman total, pelepasan beban dapat mencegah :

a. Penuaan yang semakin cepat dari komponen mekanik generator. Frekuensi yang cukup parah dapat menimbulkan getaran (*vibration*) pada unit turbin. Hal ini mampu memperpendek usia pakai peralatan tersebut.

b. Pertimbangan pemanasan

Berkurangnya frekuensi menjadi penyebab berkurangnya kecepatan motor pendingin generator, berakibat terjadinya pengurangan sirkulasi udara yang menjadi penyebab pemanasan pada generator.

c. Terjadinya eksitasi lebih

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

Menurut ESDM, 2008 “Keadaan Operasi yang Berhasil/Memuaskan Sistem dinyatakan berada dalam keadaan operasi baik apabila frekuensi dalam batas kisaran operasi normal ($50 \pm 0,2\text{Hz}$), kecuali penyimpangan dalam waktu singkat diperkenankan pada kisaran ($50 \pm 0,5\text{ Hz}$), sedangkan selama kondisi gangguan, frekuensi boleh berada pada batas 47,5 Hz dan 52 Hz;”.

2.4 ETAP (*Electric Transient Analysis Program*)

Dalam merancang dan analisa suatu sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real(nyata) sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) PowerStation adalah salah satu software aplikasi yang dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik.

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) mampu bekerja dalam keadaan offline (luring) untuk simulasi tenaga listrik, dan online (daring) untuk melakukan pengelolaan data real-time (waktu nyata) atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara realtime (waktu nyata). Terdapat berbagai fitur di dalamnya yang dapat digunakan untuk menganalisis pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi tenaga listrik. Analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP yaitu :

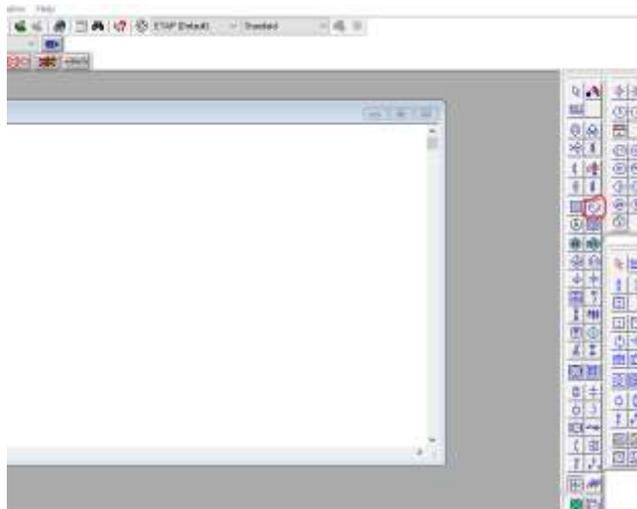
- a. Analisa aliran daya (load flow analysis)
- b. Analisa hubung singkat
- c. *Arc Flash Analysis*
- d. Starting motor
- e. Kordinasi kestabilan transien, dan lain lain.

Dalam melakukan analisa suatu sistem tenaga listrik, suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) adalah notasi yang disederhanakan pada sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah.

Pada aplikasi ETAP terdapat 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisis kelistrikan yaitu ANSI dan IEC. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) pun berbeda.

Berikut ini merupakan contoh tahapan penggunaan ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) menganalisa *load flow*.

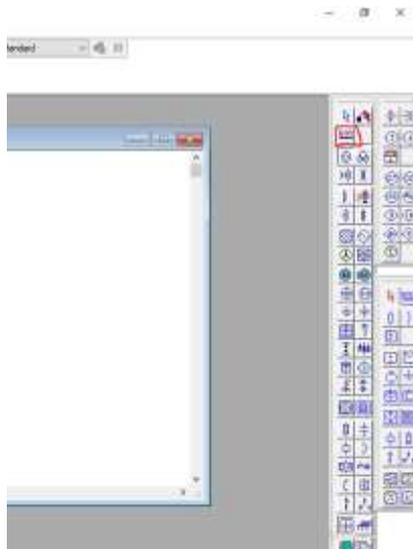
1. Buka ETAP, lalu klik New. Maka akan tampil seperti ini.
2. Pada bagian kanan klik *synchronous generator*, setelah itu klik pada lembar kerja (edit mode).



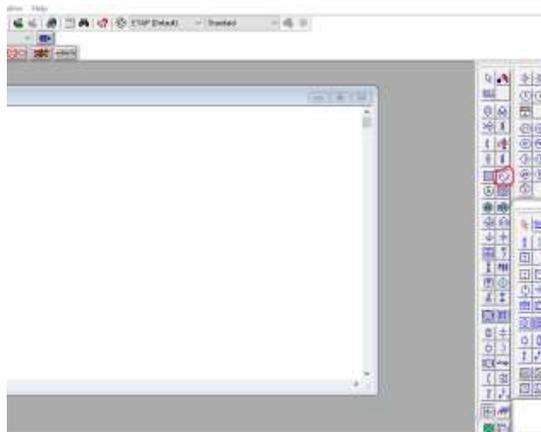
3. Klik kanan dua kali, lalu isi bagian info, parameter seperti gambar dibawah ini.



4. Tambahkan busbar.



5. Tambahkan 2-winding transformer.



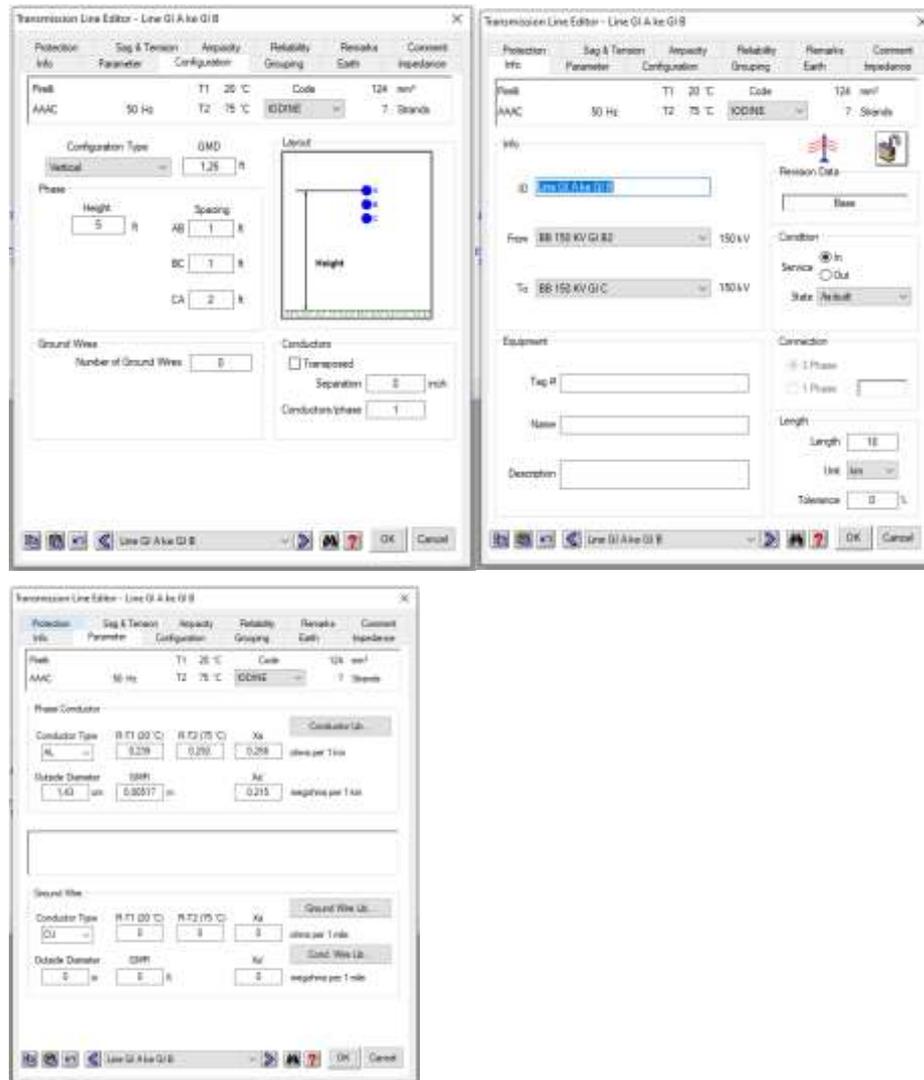
6. Klik kanan 2 kali pada, lalu isikan semua bagian seperti gambar dibawah ini.



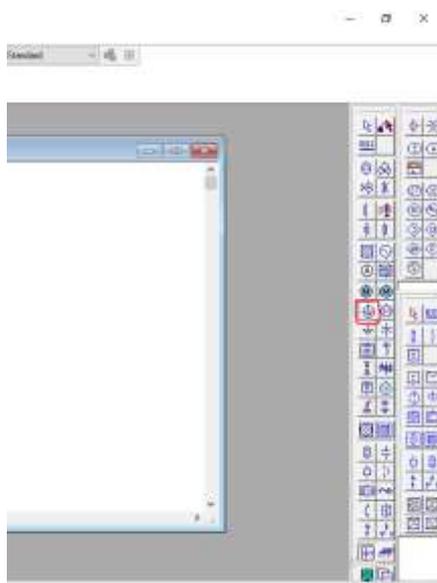
7. Tambahkan *tranmision line*.



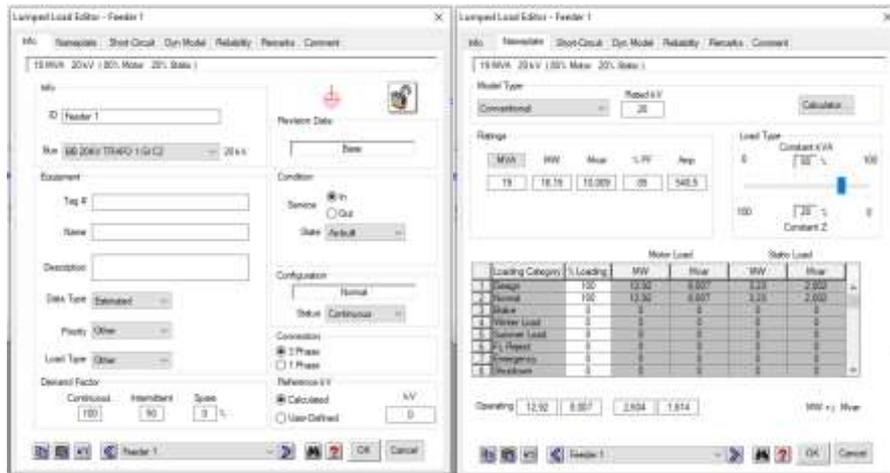
8. Klik kanan 2 kali pada , setelah itu sesuaikan isi semua parameter seperti gambar dibawah ini.



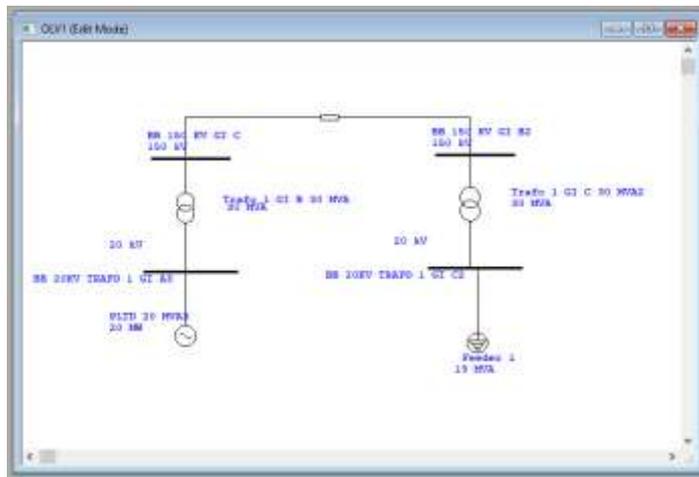
9. Lalu blok busbar dan trafo yang sudah dibuat. Lalu *Copy*, setelah itu *Paste*.
10. Tambahkan *lumped load*.



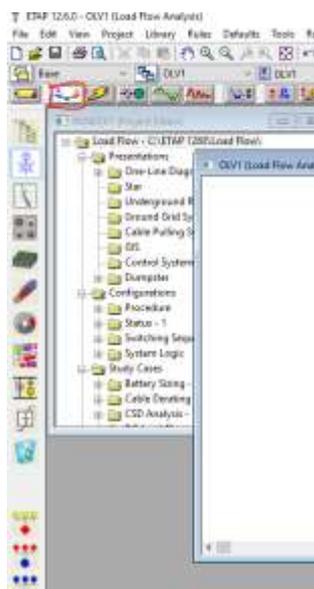
11. Klik 2 kali pada lamped load, lalu isi sesuai dengan gambar di bawah ini.



12. Setelah semuanya siap. Hubungkan semuanya menjadi seperti gambar dibawah ini.



13. Klik *load flow analysis*.



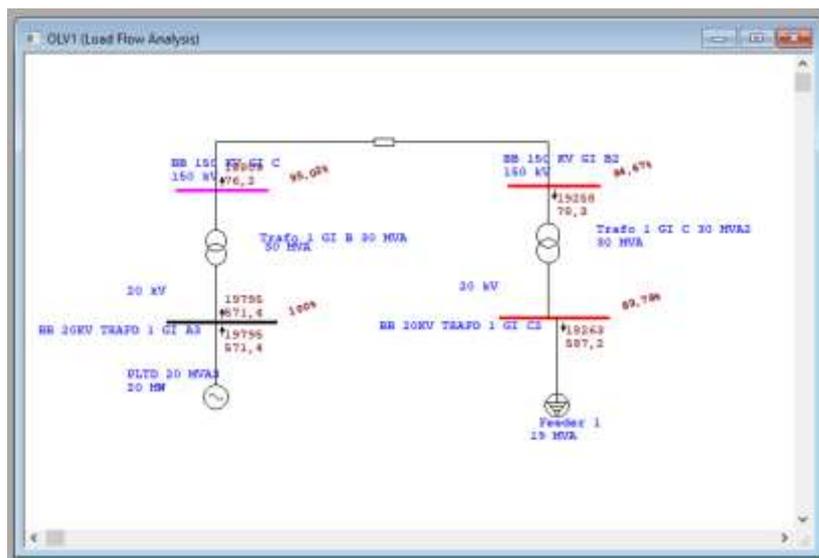
14. Untuk memulai simulasi, klik *run load flow*.



15. Mengubah satuan yang akan dianalisis, dilakukan dengan meng-klik + tahan lalu pilih parameter.



16. Hasil simulasi *load flow*, dengan parameter yang dianalisis adalah tegangan dan arus. Terdapat juga persentasi arus & tegangan pada setiap busbar, untuk mempermudah analisis.



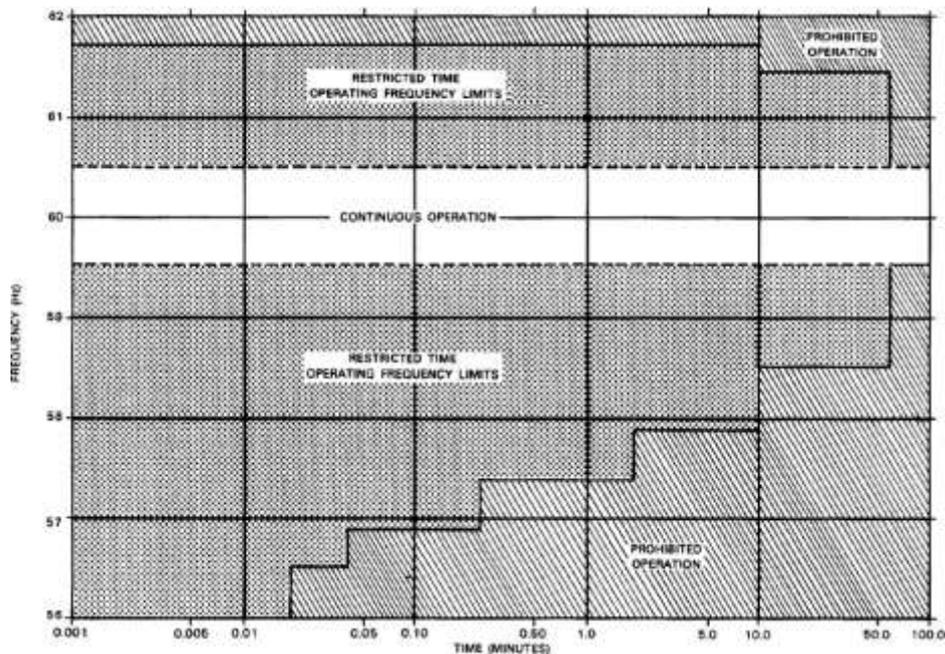
Gambar 6. Hasil simulasi *load flow*

Berdasarkan simulasi di atas dapat kita lihat atau analisis dengan mudah penurunan tegangan dan arus yang terjadi pada studi kasus tersebut. Ketika di busbar paling terakhir hanya sampai 89,78 %. Ketika di busbar pertama masih 100 % dengan tegangan sebesar dan arus sebesar, pada busbar kedua terjadi penurunan menjadi 95,02 % lalu pada busbar yang ketiga terjadi penurunan menjadi 94,67 %.

2.5 Standar yang digunakan untuk analisis kestabilan transien

1. Standar frekuensi

Menggunakan standar IEEE Std. 106-2003 untuk menentukan operasi frekuensi yang diizinkan pada turbine generator dengan frekuensi sistem 60 Hz. Frekuensi kerja yang diperbolehkan menurut standar IEEE Std. 106-2003. Dikarenakan pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry menggunakan frekuensi 50 Hz sehingga perlu mengubah satuan pada standar dalam bentuk persen agar dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz.



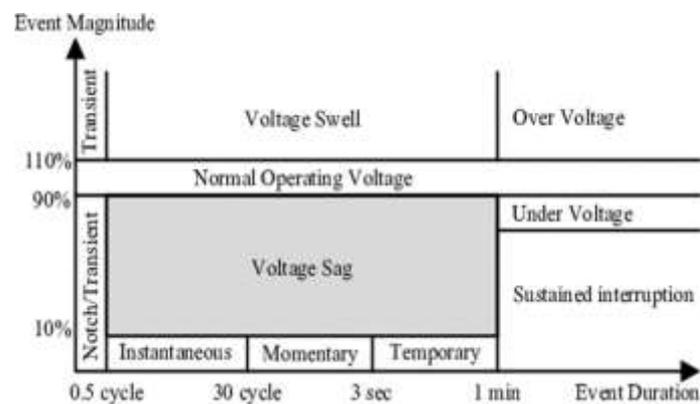
Gambar 7. Standar Frekuensi yang digunakan adalah standar untuk *Steam Turbin Generator* (IEEE Std C37.106-2003)

2. Standar tegangan

Standar tegangan yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar PLN , yaitu :

- 500 KV +5%. -5%
- 150 KV +5%, -5%
- 70 KV +5%. -10%
- KV +5%, -10%

Sedangkan standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*) *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* (IEEE Std 1159 -1995).



Gambar 8. Definisi *Voltage Magnitude Event* berdasarkan standar IEEE 1195 -1995

3. Keseimbangan pembangkitan dan beban

a. Frekuensi sistem \pm 50 Hz

Menunjukkan keseimbangan sesaat antara daya nyata (MW) pembangkitan dengan daya nyata (MW) dikonsumsi beban, bernilai nominal (=50 Hz) pada saat daya nyata pembangkitan sama dengan daya nyata konsumsi beban.

Power factor,

b. Frekuensi sistem $>$ 50 Hz

Frekuensi sistem bernilai lebih besar dari nilai nominal ($>$ 50 Hz) pada saat daya nyata pembangkitan lebih besar dari daya nyata konsumsi beban, untuk mengembalikan ke 50 Hz daya nyata pembangkitan dikurangi

c. Frekuensi sistem $<$ 50 Hz

Frekuensi sistem dibawah nilai nominal 50 Hz pada saat daya nyata pembangkitan lebih kecil dari daya nyata konsumen beban, untuk mengembalikan ke 50 Hz daya nyata pembangkitan ditambah. (Amplifier Vol. 8 No. 1, Mei 2018)

III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sistem pembangkitan listrik PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin dihasilkan dari larutan *black liquor* yang mana larutan ini merupakan sampah (limbah). Pengolahan *black liquor* dilakukan di *recovery boiler*. Penghasil uap selain di *recovery boiler* dilakukan juga di *multifuel boiler*. Uap (*steam*) yang dihasilkan pada *multifuel boiler* menggunakan bahan bakar cangkang sawit dan kulit kayu.

Berikut ini merupakan tabel data generator, transformator dan beban pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

Tabel 1. Data generator PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

Peralatan	Tegangan (KV)	Daya (MW)	Power Factor (%)	Kecepatan sinkron (rpm)
Turbin Uap 28	10.5	60	85	1500
Turbin Uap 27	10.5	100	85	1500
Turbin Uap 1	11	37	85	1500
Turbin Uap 2	11	37	85	1500
Turbin Uap 3	11	37	85	1500
Turbin Uap 4	3,3	18	90	1500
Turbin Uap 5	3,3	15,3	85	1500
Turbin Uap 6	11	29,75	85	1500

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini bertempat di PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry dan mulai pada bulan Februari 2021.

3.3 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Laptop dengan spesifikasi : prosesor AMD Ryzen 5 2500U 3.6Hz, RAM 8 GB DDR4.

2. Windows 10.
3. Photoshop CS 6.
4. ETAP 16.0.0

3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian meliputi beberapa tahap, antara lain :

1. Studi literatur

Tahap ini dilakukan untuk mempelajari dasar dari ilmu kelistrikan serta memahami karakteristik dari ilmu analisa sistem tenaga dan operasi sistem tenaga menyangkut masalah stabilitas transien yang berupa buku – buku , jurnal dan artikel-artikel yang berasal dari internet sebagai referensi yang berhubungan dengan topik dalam penyusunan tugas akhir ini.

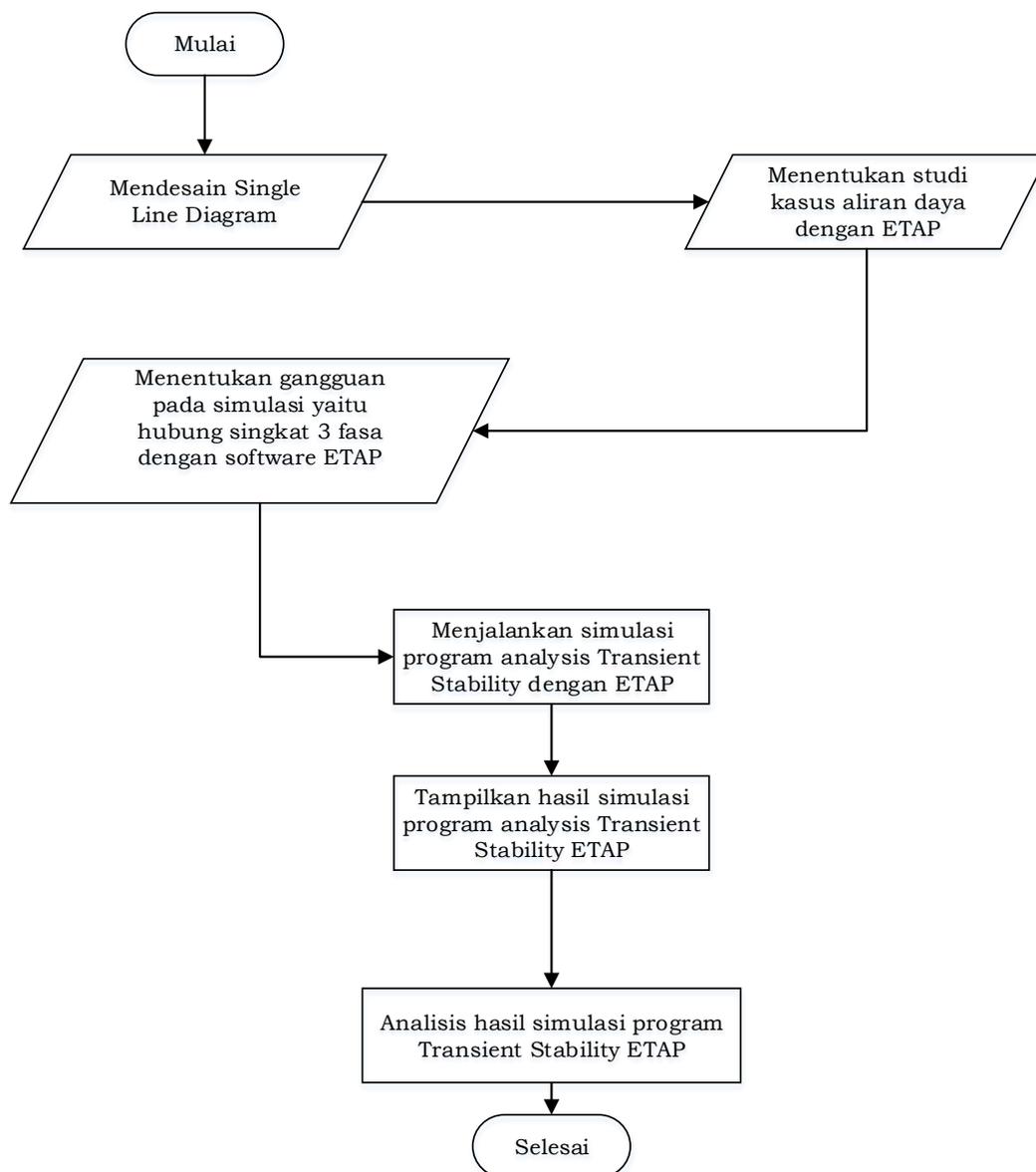
2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengujian-pengujian pada masalah stabilitas transien, sehingga didapatkan nilai-nilai yang diperlukan sebagai bahan analisa selanjutnya

3. Simulasi

Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji keadaan kestabilan sistem transien (periode peralihan) pada sistem pembangkitan PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry sehingga dapat meminimalisir sebuah kesalahan sistem. Software yang digunakan dalam simulasi ini adalah ETAP 16.0.0.

3.5 Tahapan simulasi



Gambar 9. Tahapan melakukan simulasi penelitian

Berdasarkan simulasi di flowchart di atas dapat diketahui bahwa dalam proses simulasi diawali dengan membuat diagram satu garis (Single Line Diagram) yang merepresentasikan hubungan sistem kelistrikan pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry, setelah dilakukan pembuatan single line diagram dilanjutkan dengan melakukan simulasi aliran daya.

Data aliran daya yang diperoleh dari aplikasi ETAP akan dicatat daya yang masuk ke setiap bus, beban dan daya yang disuplai generator yang terdapat pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry. Selain aliran daya dilakukan juga simulasi untuk mengetahui kestabilan transien pada sistem kelistrikan PT.

Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry, agar mengetahui kestabilan sistem kelistrikan ketika terjadi gangguan.

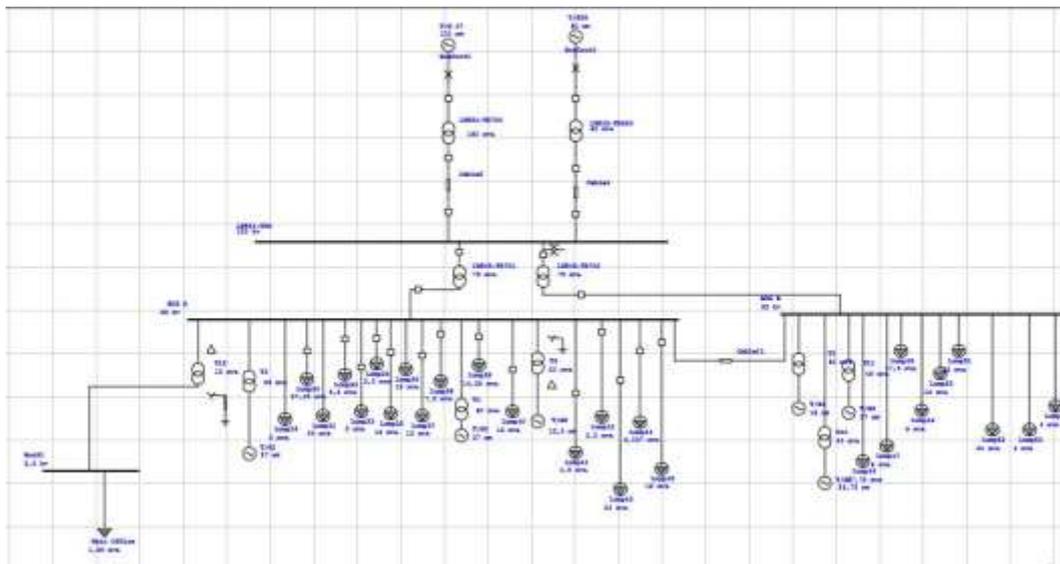
Gangguan yang akan diberikan pada saat simulasi berupa hubung singkat 3 fasa, dengan begitu nantinya dapat dilihat kestabilan transien sistem kelistrikan tersebut saat terjadi gangguan. Hasil simulasi akan diplot berupa kecepatan putar generator, frekuensi dan tegangan. Dalam upaya untuk menanggulangi atau memperbaiki kestabilan transien sistem kelistrikan tersebut dipilih metode load shedding (pelepasan beban) dengan studi kasus terjadi gangguan 3 fasa dan terjadinya pelepasan beban. Data yang akan dianalisis pada simulasi terakhir ini berupa tegangan dan frekuensi.

Pengamatan akan data simulasi kestabilan transien dengan pelepasan beban dilakukan dengan mengacu pada standarisasi . Setelah itu dilakukan pengamatan akan waktu yang diperlukan sistem untuk kembali stabil setelah terjadi gangguan 3 fasa.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aliran Daya PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

Analisa sistem tenaga pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry dilakukan menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0 yang disesuaikan dengan single line diagram dari pabrik dan kondisi sistem kelistrikan. Berikut ini merupakan gambar *single line diagram* yang telah dirangkai di aplikasi.



Gambar 10. *Single line diagram* kelistrikan PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

Berikut ini merupakan data beban yang diurutkan berdasarkan keprioritasannya dan data transformator yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. Data beban simulasi pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

ID	MVA	MW	Mvar	%PF	AMP
Main Office	1,35	1,35	0	100	236,2
F10	15	12,75	7,902	85	262,4
F40	20	17	10,536	85	349,9
F17	4,5	3,825	2,371	85	78,73
F30	8	6,8	4,214	85	140
F4	3,2	2,72	1,686	85	55,99
F6	1,6	1,36	0,843	85	27,99
F19	20	17	10,536	85	349,9
F29	17,5	14,875	9,219	85	306,2
F7	12	10,2	6,321	85	209,9
F8	12	10,2	6,321	85	209,9
F2	27,15	23,077	14,302	85	475
F3	24	20,4	12,643	85	419,9

F44	4	3,4	2,107	85	69,98
F21	12	10,2	6,321	85	209,9
F14	14,89	12,656	7,844	85	260,5
F26	8	6,8	4,214	85	140
F5	5	4.25	2.634	85	87,48
F25	17,75	15,087	9,35	85	310,5
F31	12	10,2	6,321	85	209,9
F32	22	18,7	11,589	85	384,9
F16	12	10,2	6,321	85	209,9
F18	2,2	1,87	1,159	85	38,49
F45	4,5	3,8825	2,371	85	78,73
F20	8,037	6,831	4,234	85	140,6
F43	4	3,4	2,107	85	69,98
F11	10,737	6,375	8,64	59,37	187,9
F1	5	4,25	2,634	85	87,48

Tabel 3. Data *transformator* simulasi pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

ID	Voltage rating (KV)		Power rating (MVA)	Impedansi (%Z)
	Primer	Sekunder		
Trafo Bus A – PT PANEL	33	11	24	9,68
TRAFO TG1	11	33	45	12,1
TRAFO TG2	11	33	45	12,11
TRAFO TG3	11	33	45	12,05
TRAFO TG4	3,3	34,6	20	12,1
TRAFO TG5	3,3	33	20	12,1
TRAFO TG6	11	34,65	40	12
LPK54-700	10,5	157,5	150	12
LPK54-800	10,5	157,5	90	12,5
LPK54-701	150	34,5	75	12,5
LPK54-702	150	34,5	92	12,5

Setelah single line diagram pada kelistrikan PT. Lontar Papyrus dirangkai sesuai dengan data yang didapat, selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya (*load flow*) pada sistem kelistrikan tersebut. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapat data simulasi sebagai berikut.

Tabel 4. Data simulasi aliran daya pada bus

ID Bus	Nominal KV	Tegangan (%)	Daya beban (MW)
Bus A	33	95,63	159,241
Bus B	33	95,65	144,642
LPK54-FDR	150	98,92	61,848
PT PANEL	3,3	98,15	1,301

Pada bus A disuplai tegangan sebesar 31,55 KV dengan daya sebesar 159,241 MW, bus B disuplai tegangan sebesar 31,56 KV dengan daya sebesar 144,642 MW, bus LPK54-FDR disuplai tegangan sebesar 148,38 KV dengan daya sebesar 61,848 MW dan bus PT PANEL disuplai tegangan 3,28 KV dengan daya sebesar 1,301 MW.

Tabel 5. Data simulasi aliran daya pada generator

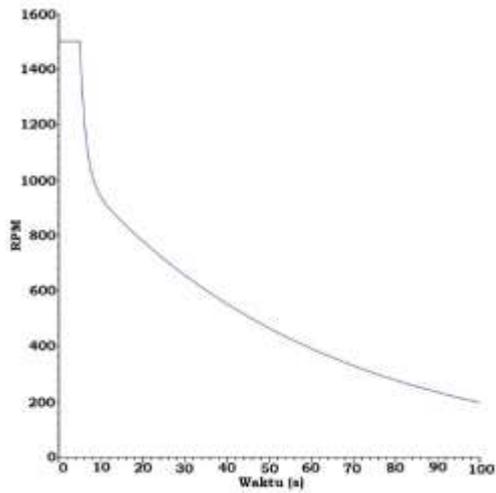
ID	Rating/ limit	Rated KV	MW
Turbin Uap 27	100	10,5	73,249
Turbin Uap 28	60	10,5	29,451
Turbin Uap 1	37	11	34,294
Turbin Uap 2	37	11	31,709
Turbin Uap 3	37	11	32,649
Turbin Uap 4	18	3,3	16,22
Turbin Uap 5	15,3	3,3	14,403
Turbin Uap 6	29,75	11	28,5

Berdasarkan data tabel di atas maka, dapat diketahui bahwa generator Turbin Uap 1 menyuplai daya sebesar 34,294 MW, generator Turbin Uap 2 menyuplai daya sebesar 31,709 MW, Turbin Uap 3 menyuplai daya sebesar 31,649 MW, Turbin Uap 4 menyuplai daya sebesar 16,22 MW, Turbin Uap 5 menyuplai daya sebesar 14,403 MW, Turbin Uap 6 menyuplai daya sebesar 28,5 MW, Turbin Uap 27 menyuplai daya sebesar 73,249 MW dan Turbin Uap 28 menyuplai daya 29,451 MW.

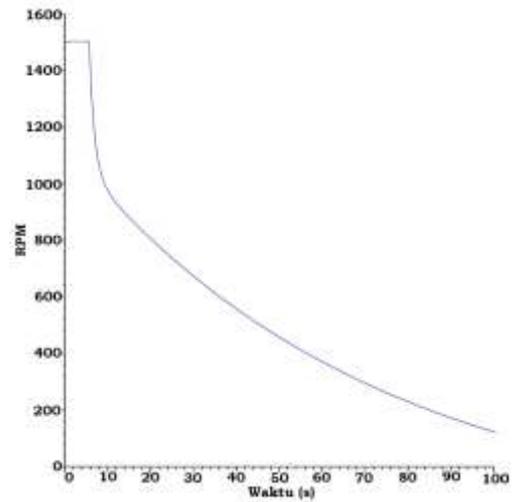
4.2 Kestabilan Transien PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

Kestabilan Transien pada sebuah perusahaan sangat penting diketahui, agar dapat diketahui bagaimana keandalan sistem tersebut apabila terjadinya sebuah gangguan. Dilakukan simulasi untuk mengetahui stabilitas transien pada kelistrikan PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry saat mengalami gangguan 3 fasa pada salah satu bus. Pada simulasi kestabilan transien dikarenakan

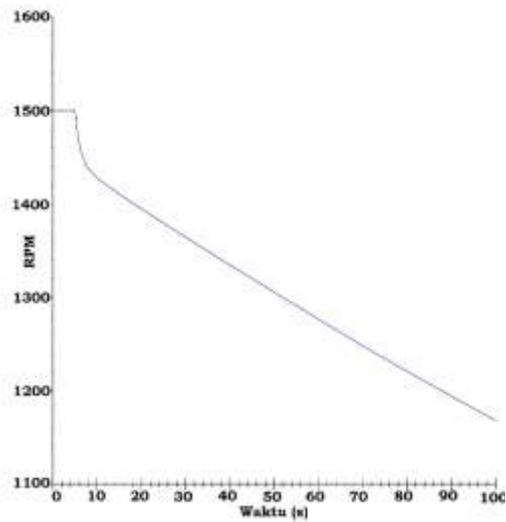
adanya gangguan hubung singkat 3 fasa saat waktu 5 detik di Bus A, lalu data simulasi diplot sebanyak 100 detik didapatkan data pada generator sebagai berikut ini :



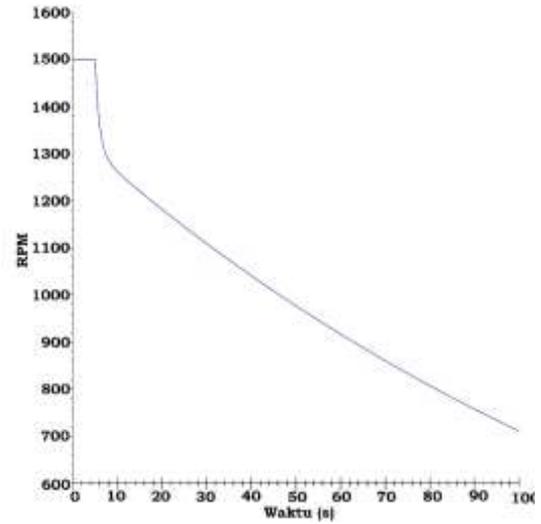
Gambar 11. Kecepatan putar generator Turbin UAP 1 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



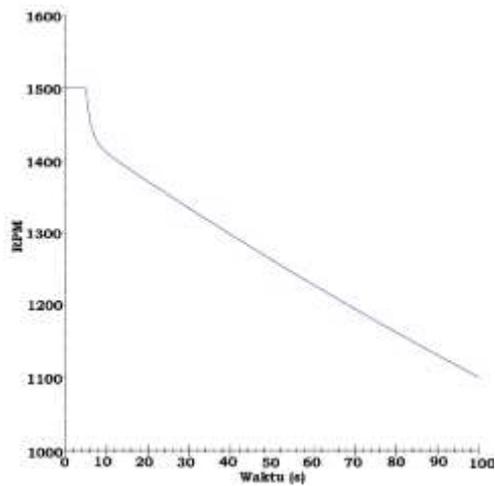
Gambar 12. Kecepatan putar generator Turbin Uap 2 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



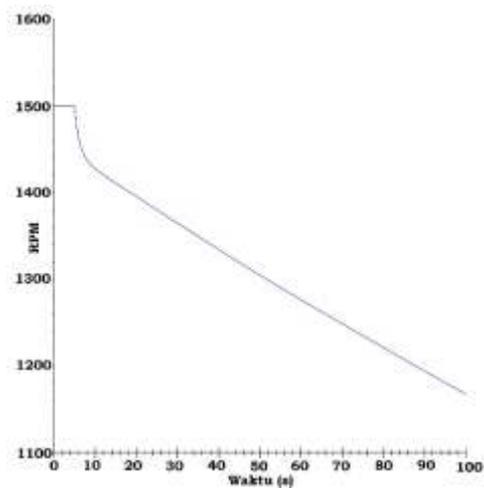
Gambar 13. Kecepatan putar generator Turbin Uap 3 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



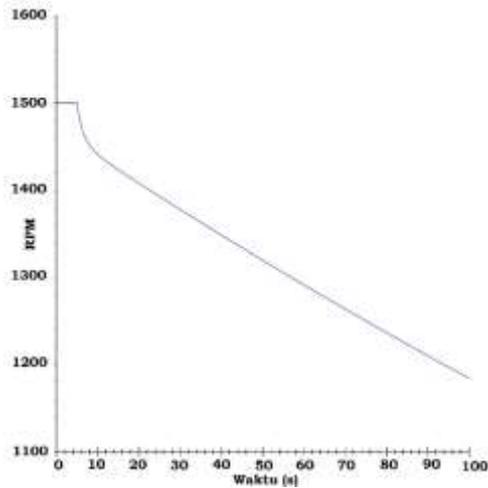
Gambar 14. Kecepatan putar generator Turbin Uap 4 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



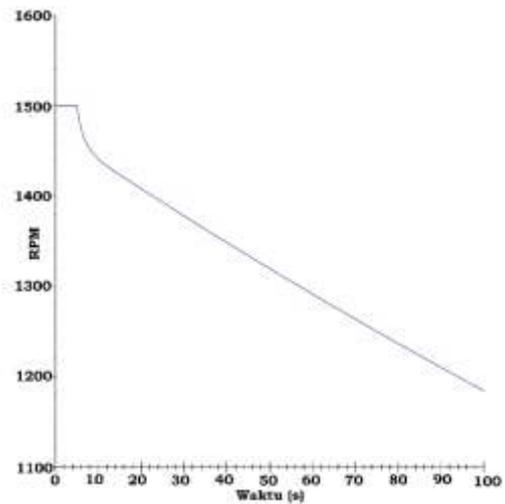
Gambar 15. Kecepatan putar generator Turbin Uap 5 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



Gambar 16. Kecepatan putar generator Turbin Uap 6 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A

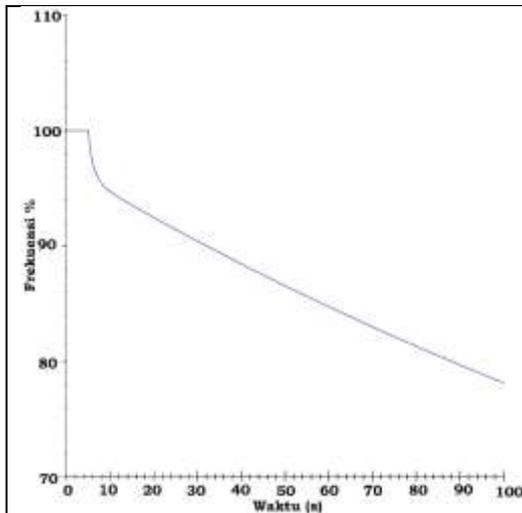


Gambar 17. Kecepatan putar generator Turbin Uap 27 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A

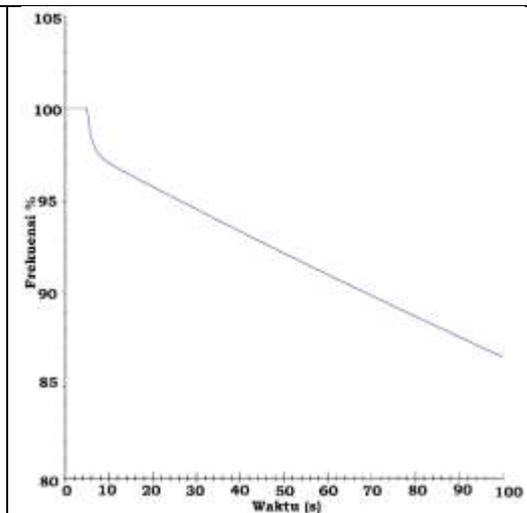


Gambar 18. Kecepatan putar generator Turbin Uap 28 ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A

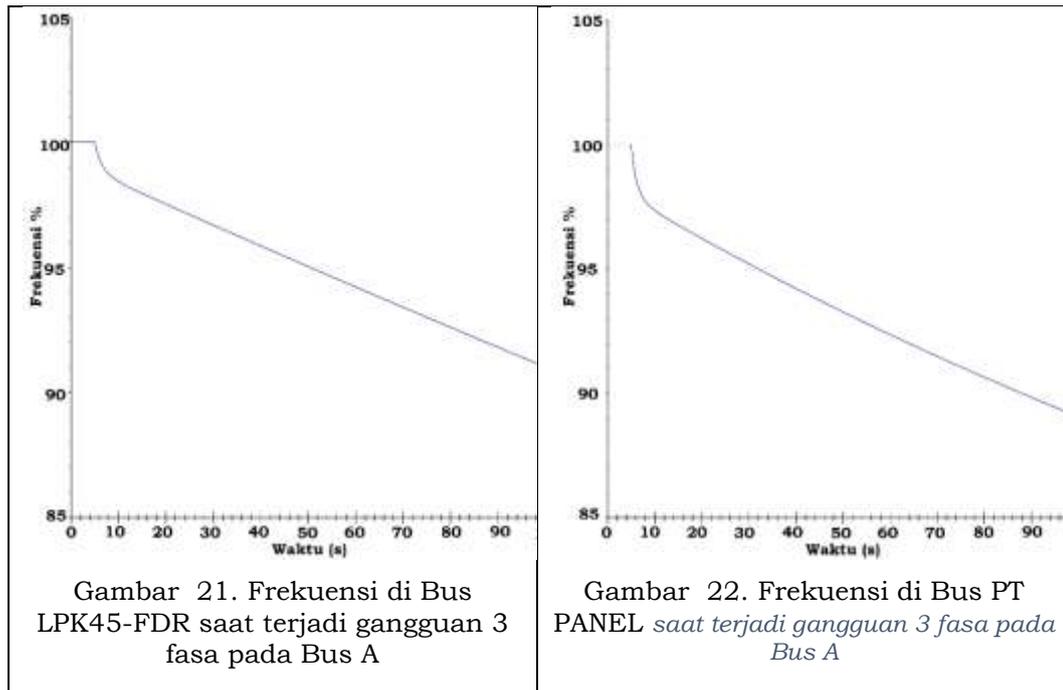
Dari simulasi di atas dapat dilihat bahwa semua generator tidak mencapai kestabilannya. Selain data kecepatan putar generator disimulasikan juga kestabilan transien pada frekuensi dan tegangan pada Bus, sehingga didapat data sebagai berikut ini :



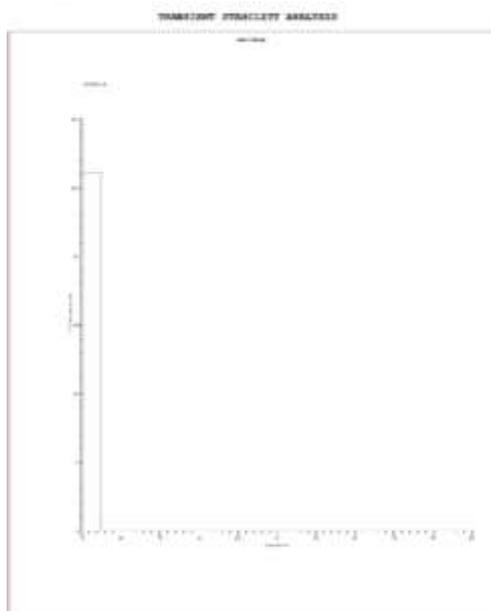
Gambar 19. Frekuensi di Bus A saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



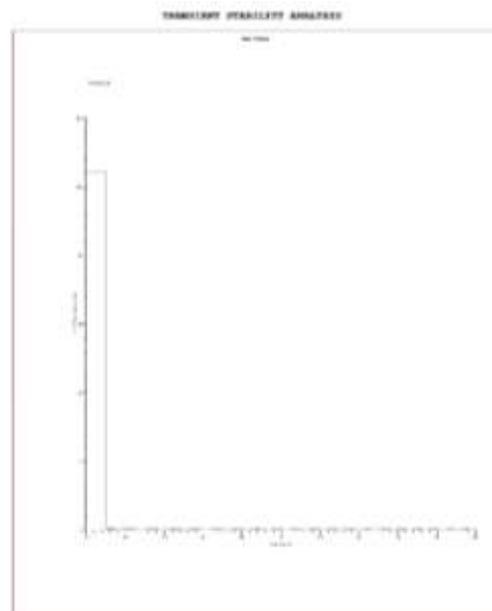
Gambar 20. Frekuensi di Bus B saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A



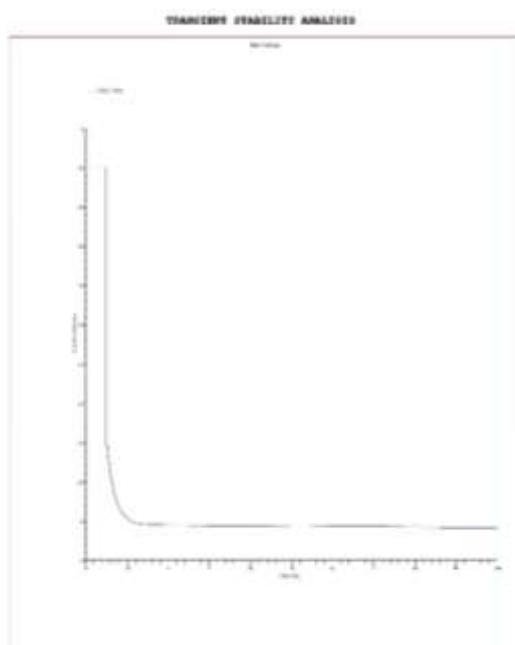
Berdasarkan 4 gambar respon frekuensi dari sistem yang disimulasikan terlihat bahwa ketika terjadi gangguan 3 fasa pada bus A, frekuensi pada sistem kelistrikan tidak mengalami kestabilan. Karena berada di bawah standar yang telah ditentukan yaitu berada di range frekuensi normal yaitu 95 % -105 %.



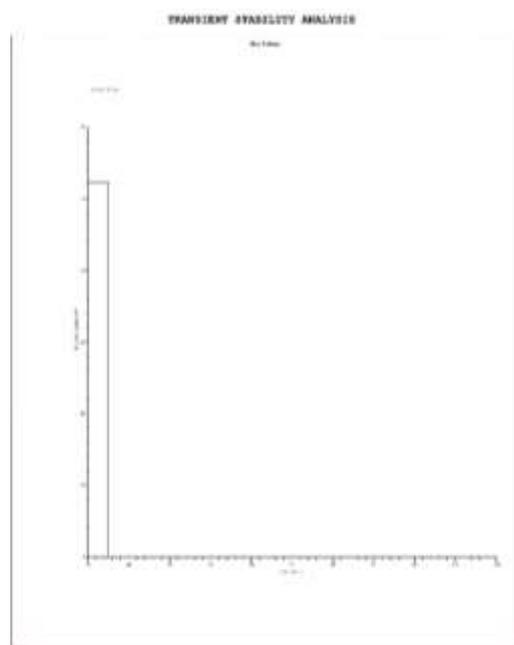
Gambar 23. Tegangan pada bus A saat terjadi gangguan 3 fasa.



Gambar 24. Tegangan pada bus B saat terjadi gangguan 3 fasa.



Gambar 25. Tegangan pada bus LPK54-FDR saat terjadi gangguan 3 fasa.



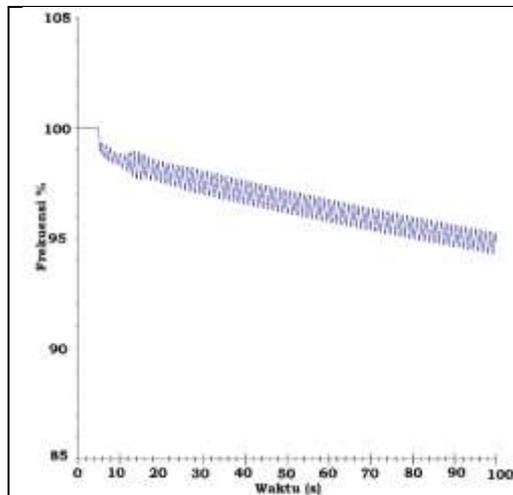
Gambar 26. Tegangan pada bus PT PANEL saat terjadi gangguan 3 fasa.

Berdasarkan data gambar di atas dapat dilihat bahwa pada bus PT PANEL, bus A dan bus B mengalami penurunan tegangan tegangan sampai 0 kV sedangkan pada bus LPK54_FDR penurunan tegangan juga terjadi sangat drastis dengan nilai tegangan terendah 9,86 kV. Sehingga dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa saat terjadi gangguan 3 fasa pada bus A di PT.

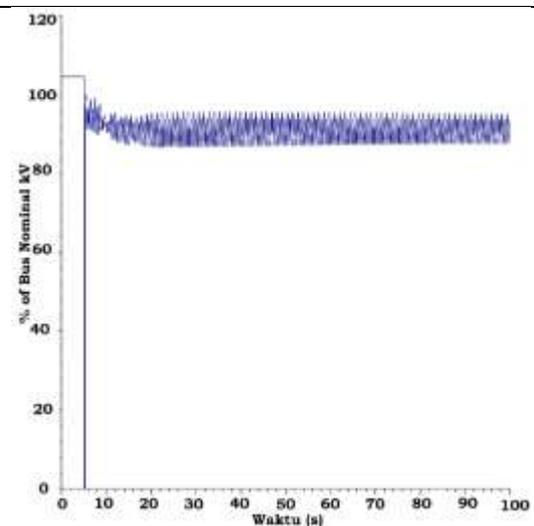
Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry, sistem kelistrikan tidak mengalami kestabilan.

4.3 Kestabilan Transien PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry setelah menggunakan pelepasan beban (*load shedding*)

Pada kasus ini dirancang terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada Bus A, gangguan diberikan pada waktu 5 detik, dan diaktifkannya pelepasan beban. Beban yang dilepaskan terdiri dari 15 % dari beban keseluruhan dengan memperhatikan tingkat keprioritasan beban seperti yang terdapat pada tabel 2. 15 % beban tersebut terdiri dari F 16, F18, F45, F20, F43, F11, dan F1 dengan total beban yang dilepaskan sebesar 46,474 MVA. Dari simulasi kestabilan transien dengan pelepasan beban ketika terjadi gangguan 3 fasa didapatkan data sebagai berikut ini.

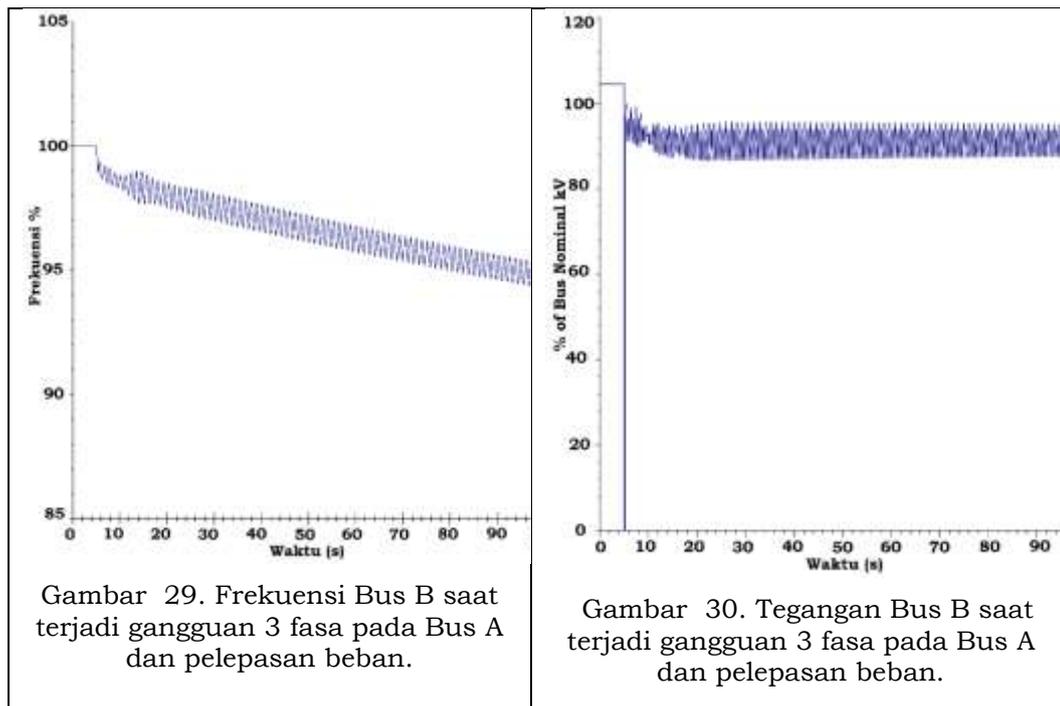


Gambar 27. Frekuensi Bus A saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.

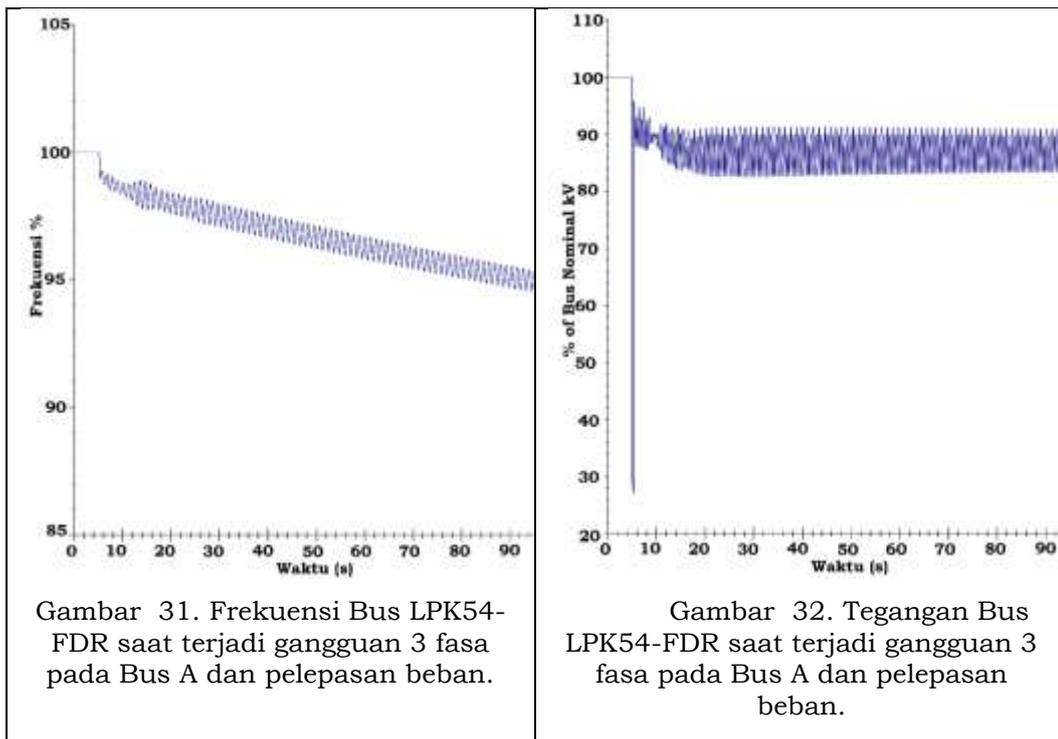


Gambar 28. Tegangan Bus A saat terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan pelepasan beban.

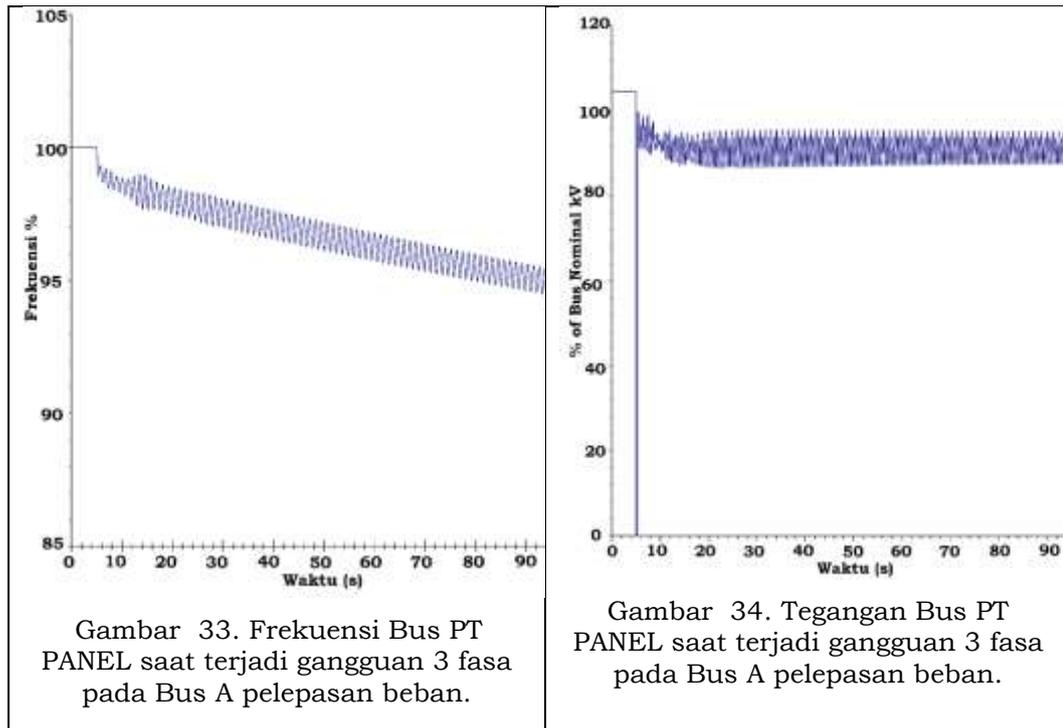
Berdasarkan gambar simulasi di atas dapat dilihat bahwa ketika terjadi gangguan 3 fasa pada bus A sistem kelistrikan dapat mencapai kestabilannya. Saat mula-mula terjadi gangguan tegangan menurun sampai ke 0 KV dengan frekuensi di 50 Hz lalu tegangan kembali naik 31,38 KV dengan frekuensi 48,9 Hz. Sehingga dengan setelah terjadinya pelepasan beban, sistem kembali stabil pada bus A.



Pada gambar di atas menunjukkan bahwa pada bus B ketika terjadi gangguan 3 fasa pada Bus A dan terjadinya pelepasan beban mengalami penurunan tegangan sampai 0 kV di waktu 5,001 detik dan frekuensi yang stabil dengan penurunan di 49,3 Hz (98,6). Saat waktu mulai 31,108 detik tegangan mengalami kenaikan dan penurunan di antara 3,19 kV(96,56%) – 3,25 kV (98,7%) yang mana range tegangan ini masih dalam keadaan stabil.



Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa sistem dapat kembali ke keadaan stabil setelah terjadi pelepasan beban saat bus A. Tegangan di bus LPK54-FDR saat waktu 5.001 detik mengalami penurunan menjadi 43,63 KV (29,09 %) dengan frekuensi 50 Hz dan tegangan terkecil berada di 40,51 KV (27,01%) dan kembali mengalami kenaikan dan penurunan tegangan pada waktu 23,601 detik di rating tegangan antara 143,1 KV (95,38%) – 145,5(97,01%) namun kenaikan dan penurunan ini masih dalam keadaan stabil transien.



Sistem kestabilan pada bus PT PANEL seperti yang gambar di atas, dapat diketahui dapat kembali stabil saat bus sistem mengalami gangguan 3 fasa pada bus A dan dilakukan pelepasan beban. Frekuensi masih mengalami kestabilan dengan frekuensi paling kecil berada di 49,2 Hz (98,3%), tegangan mengalami penurunan sampai 0 kV saat waktu 5,001 detik dan kembali naik pada waktu 5,481 detik dengan tegangan 3,19 kV (96,74 %) dan mengalami kestabilan mulai 10,181 detik dengan rating tegangan berada di 3,15 kV(95,35%) – 3,28 kV (99,4%).

Id bus	Waktu tidak stabil (s)	Waktu kembali stabil (s)	Waktu untuk mencapai kestabilan (s)
Bus A	5,001	11,050	6,049
Bus B	5,001	31,108	26,107
Bus LPK54-FDR	5,001	23,601	18,6
Bus PT PANEL	5,001	10,181	5,18

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan cara mensimulasikan saat bus A pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry mengalami gangguan 3 fasa sistem kelistrikan akan mengalami penurunan tegangan sampai 0 kV pada bus A, bus B dan PT PANEL. Dengan menggunakan metode pelepasan beban sistem dapat kembali mengalami kestabilan.

Berdasarkan tabel. Dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan pada setiap bus memerlukan waktu yang berbeda-beda. Bus A membutuhkan waktu , 26,107 detik waktu yang dibutuhkan bus B kembali mencapai kestabilan, Bus LP45-FDR membutuhkan waktu 18,6 detik untuk kembali mengalami kestabilan dan Bus PT PANEL membutuhkan waktu untuk mencapai kestabilan 5,18 detik.

V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan terhadap sistem kelistrikan PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry menggunakan aplikasi ETAP 16.0.0 didapat data ketika sistem mengalami gangguan 3 fasa pada bus A dengan menggunakan load shedding dapat memperbaiki kestabilan transien sistem kelistrikan.

1. Aliran daya pada PT. Lontar Papyrus Pada bus A disuplai tegangan sebesar 31,55 KV dengan daya sebesar 159,241 MW, bus B disuplai tegangan sebesar 31,56 KV dengan daya sebesar 144,642 MW, bus LPK54-FDR disuplai tegangan sebesar 148,38 KV dengan daya sebesar 61,848 MW dan bus PT PANEL disuplai tegangan 3,28 KV dengan daya sebesar 1,301 MW.
2. simulasi yang dilakukan dengan menambahkan metode pelepasan beban ketika terjadi gangguan 3 fasa didapatkan data Bus A membutuhkan waktu 6,049 detik untuk kembali ke keadaan stabil dengan tegangan 31,38 (95,09%) kV dan frekuensi 50 Hz. Pada bus kembali mencapai kestabilan membutuhkan waktu 26,107 detik dengan tegangan mengalami kenaikan dan penurunan di antara 3,19(96,56) – 3,25 kV (98,7) dengan frekuensi 43.9 Hz. Bus PT PANEL membutuhkan waktu 5,18 detik untuk kembali mencapai kestabilan dengan tegangan berada di antara 3,15 kV (95,35%)-3,28 kV (99,4%) dan frekuensi .49,2 Hz. LPK54-FDR membutuhkan waktu 18,6 detik untuk mencapai kestabilan kembali dengan tegangan berada di antara 143,1 kV (95,38 %) – 145,5 (97,01%). Sehingga dari data di atas dapat disimpulkan dengan menggunakan metode pelepasan beban, sistem kelistrikan pada PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry dapat kembali stabil ketika terjadi gangguan 3 fasa di bus A

5.2 SARAN

Penelitian selanjutnya diharapkan untuk gangguannya ditambahkan gangguan 1 fasa dan gangguannya terjadi pada beberapa bus (bukan hanya satu).

DAFTAR PUSTAKA

- Ardyono, F. (2016). Analisis Kestabilan Transien dan Pelepasan Beban Pada Sistem Intergrasi 33 KV PT. Pertamina RU. *Jurnal Teknik ITS*.
- Ariastina, N. (2013). Studi kestabilan sistem dan pelepasan beban (load shedding) berdasarkan standar IEEE di PT. *E-Jurnal Spektrum*.
- Hadi, J. (2017). Desain dan analisa atna mikrostrip multiband segiempat menggunakan array. *Jurnal Teknik Elektro*.
- Indriani, A. (2018). Desain Atena mikroskopik bentuk segi empat untuk antena syntentic aperture radar (SAR). *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*.
- Indriani, A., & Haidi, J. (2017). Antena Mikrostrip Bentuk segiempat 1,8 GHz menggunakan metode parsial ground untuk aplikasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*.
- Karnoto, & Tambunan, R. (2013). Simulasi pelepasan beban (load shedding) pada sistem jaringan distribusi Tragi Sibolga 150/20.
- Margo, B. (2017). Analisis kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban di PT. *Jurnal Teknik ITS*.
- Novalio. (2015). Pengaruh perhitungan flow gas terhadap perubahan suhu gas dengan alat ukur. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*.
- Priyadi, A., & Khisbulloh, W. (2012). Analisis Stabilitas Transien dan Pelepasan Beban di Perusahaan Minyak Nabati. *Jurnal teknik Pomits*.
- Ratnasari, t., & Senem , A. (2018). Simulasi Pelepasan Beban Saat Terjadi Gangguan Transien Pada Sistem Jaringan Distribusi. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*.
- Setiabudy, R., & Nugraheni, A. (2016). Simulasi pelepasan beban dengan menggunakan rele frekuensi pada sistem tenaga listrik. *Jurnal Teknik Elektro*.
- Syahrial, T. (2013). Studi Load Shedding pada sistem kelistrikan pengeboran minyak lepas pantai. *JURNAL REKA ELKOMIKA*.

LAMPIRAN**Lampiran 1.** Surat keterangan dari PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry

P.T. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industries, Jambi Mill Desa Tebing Tinggi, Kecamatan Tebing Tinggi 36126 Jambi, South Sumatra

Hal : Surat Keterangan

Kepada Yth :
Wakil Dekan BAKSI
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jambi
Di Tempat

Dengan Hormat,
Dengan ini menerangkan bahwa mahasiswa dengan identitas sebagai berikut :

Menerangkan bahwa,

Nama : MARTONO
No. Mhs : MIA114002
Prodi : Teknik Elektro
Instansi : Universitas Jambi

Telah kami setuju untuk melaksanakan penelitian pada perusahaan kami sebagai syarat penyusunan skripsi dengan judul :

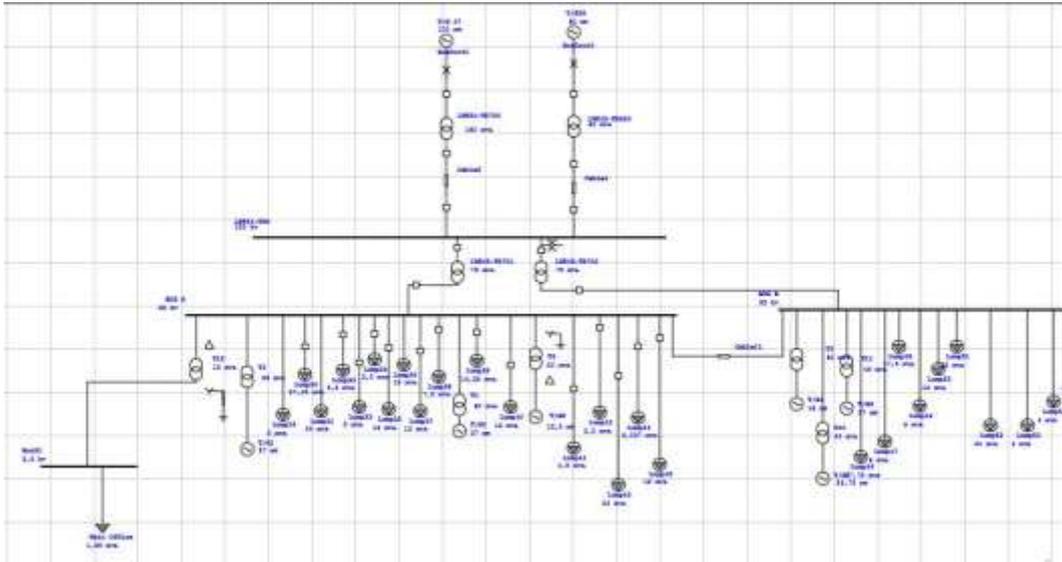
"Analisis Perbaikan Stabilitas Transien Pada Sistem Kelistrikan PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Pada Power Palan Dengan Metode Load Shedding (Pelepasan Beban)"

Demikian surat ini dibuat untuk dapat di pergunakan sebagaimana mestinya.

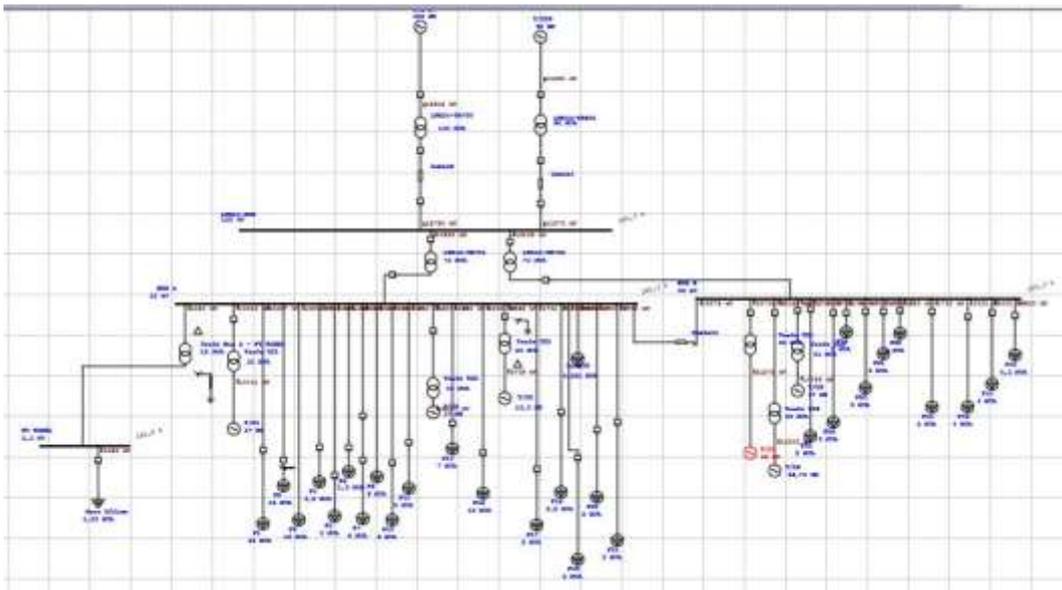
Jambi, 5 April 2021

Ir. Lukman Isary, MM
HRD Manager

Lampiran 3. Tangkapan layar single line diagram PT. Lontar Papyrus Pulp & Papyrus di ETAP 16.0.0



Lampiran 4. Tangkapan layar simulasi load flow (aliran daya) PT. Lontar Papyrus Pulp & Papyrus



Lampiran 5. Data generator di aplikasi etap

The figure displays four screenshots of the 'Synchronous Generator Editor' window in ETAP software, arranged in a 2x2 grid. Each window shows the configuration for a specific generator model.

Top-Left Screenshot (T/G 27):

- Generator: 10.5 kV, 100 MW, Swing
- Rating: MW = 100, kV = 10.5, % PF = 95, MVA = 117.647, % EF = 95, Poles = 4, % of Bus Non kV = 100, FLA = 6465, RPM = 1500
- Gen. Category Table:

Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Gmax	Gmin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
- Prime Mover Rating: Continuous HP = 134102, MW = 100, Peak HP = 134102, MW = 100, Peak Mvar = 61.374
- Operating Values: % V = 100, Vangle = 0, MW = 39.155, Mvar = 63.165

Top-Right Screenshot (T/G 28):

- Generator: 10.5 kV, 60 MW, Swing
- Rating: MW = 60, kV = 10.5, % PF = 95, MVA = 70.588, % EF = 95, Poles = 4, % of Bus Non kV = 100, FLA = 3881, RPM = 1500
- Gen. Category Table:

Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Gmax	Gmin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
- Prime Mover Rating: Continuous HP = 60461.3, MW = 60, Peak HP = 60461.3, MW = 60, Peak Mvar = 37.165
- Operating Values: % V = 100, Vangle = 0, MW = 23.502, Mvar = 41.409

Bottom-Left Screenshot (T/G 1):

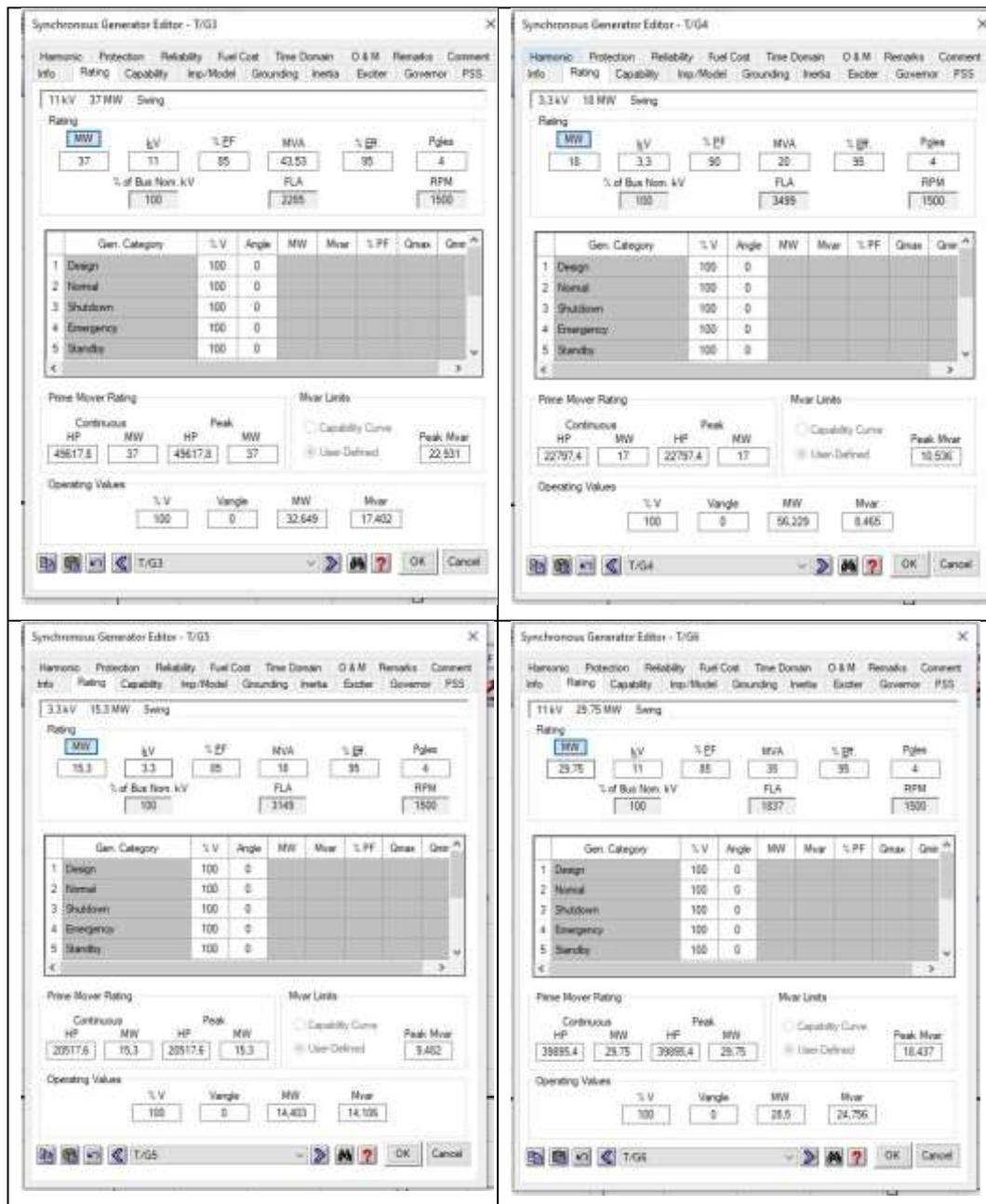
- Generator: 11 kV, 37 MW, Swing
- Rating: MW = 37, kV = 11, % PF = 85, MVA = 43.529, % EF = 95, Poles = 4, % of Bus Non kV = 100, FLA = 2235, RPM = 1500
- Gen. Category Table:

Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Gmax	Gmin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
- Prime Mover Rating: Continuous HP = 49617.8, MW = 37, Peak HP = 49617.8, MW = 37, Peak Mvar = 22.931
- Operating Values: % V = 100, Vangle = 0, MW = 34.294, Mvar = 8.281

Bottom-Right Screenshot (T/G 2):

- Generator: 11 kV, 37 MW, Swing
- Rating: MW = 37, kV = 11, % PF = 85, MVA = 43.53, % EF = 95, Poles = 4, % of Bus Non kV = 100, FLA = 2265, RPM = 1500
- Gen. Category Table:

Gen. Category	% V	Angle	MW	Mvar	% PF	Gmax	Gmin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
- Prime Mover Rating: Continuous HP = 49617.8, MW = 37, Peak HP = 49617.8, MW = 37, Peak Mvar = 22.931
- Operating Values: % V = 100, Vangle = 0, MW = 44.093, Mvar = 10.547



Lampiran 6. Data trafonsformator di aplikasi etap

2-Winding Transformer Editor - LFK4-TR700

Reliability: Rating Impedance Tap Remarks Grounding Sizing Comment Protection Harmonic

150 MVA IEC Liquid-Fill Other 65°C 10.5 157.5kV

Voltage Rating: LV FLA Nominal Bus kV Z Base
 Pri: 03.5 3242 10.5 MVA
 Sec: 157.3 543.9 150

Power Rating: MVA Rated 150 Other 65
 Desired 150

Alert - Max: MVA 150
 Default MVA
 User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft Ambient Temp 30 °C

% Dangling 0

MFR

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise
 Liquid-Fill Other Other 65

LFK4-TR700 OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - LFK45-TR600

Reliability: Rating Impedance Tap Remarks Grounding Sizing Comment Protection Harmonic

30 MVA IEC Liquid-Fill Other 65°C 10.5 157.5kV

Voltage Rating: LV FLA Nominal Bus kV Z Base
 Pri: 10.5 4949 10.5 MVA
 Sec: 157.5 329.3 150

Power Rating: MVA Rated 30 Other 65
 Desired 30

Alert - Max: MVA 30
 Default MVA
 User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft Ambient Temp 30 °C

% Dangling 0

MFR

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise
 Liquid-Fill Other Other 65

LFK45-TR600 OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - Tolo Bus A - FT PANEL

Reliability: Rating Impedance Tap Remarks Grounding Sizing Comment Protection Harmonic

12 MVA IEC Liquid-Fill Other 65°C 33 3.3kV

Voltage Rating: LV FLA Nominal Bus kV Z Base
 Pri: 33 209.9 33 MVA
 Sec: 3.3 2099 3.3

Power Rating: MVA Rated 12 Other 65
 Desired 12

Alert - Max: MVA 12
 Default MVA
 User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft Ambient Temp 30 °C

% Dangling 0

MFR

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise
 Liquid-Fill Other Other 65

Tolo Bus A - FT PANEL OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - Tolo T51

Reliability: Rating Impedance Tap Remarks Grounding Sizing Comment Protection Harmonic

45 MVA IEC Liquid-Fill Other 65°C 11 33kV

Voltage Rating: LV FLA Nominal Bus kV Z Base
 Pri: 11 2362 11 MVA
 Sec: 33 797.3 33

Power Rating: MVA Rated 45 Other 65
 Desired 45

Alert - Max: MVA 45
 Default MVA
 User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft Ambient Temp 30 °C

% Dangling 0

MFR

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise
 Liquid-Fill Other Other 65

Tolo T51 OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - Info T02

Reliability: Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

45 MVA IEC Liquid-Fill Other 05 C 11 33 kV

Voltage Rating: kV FLA Nominal Bus kV Z Base

Prim: 11 2362 11 MVA

Sec: 33 797.3 33 45

Other 05

Power Rating: MVA

Rated: 45

Other 05

Rated: 45

Alt - Max: MVA

Rated: 65

Deleted MVA

User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft

Ambient Temp: 30 °C

% Density: 0

BFR: _____

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - Info T03

Reliability: Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

20 MVA IEC Liquid-Fill Other 05 C 3.3 33 kV

Voltage Rating: kV FLA Nominal Bus kV Z Base

Prim: 3.3 3499 3.3 MVA

Sec: 33 349.9 33 20

Other 05

Power Rating: MVA

Rated: 20

Other 05

Rated: 20

Alt - Max: MVA

Rated: 25

Deleted MVA

User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft

Ambient Temp: 30 °C

% Density: 0

BFR: _____

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - Info T04

Reliability: Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

20 MVA IEC Liquid-Fill Other 05 C 3.3 34.5 kV

Voltage Rating: kV FLA Nominal Bus kV Z Base

Prim: 3.3 3499 3.3 MVA

Sec: 34.5 334.7 33 20

Other 05

Power Rating: MVA

Rated: 20

Other 05

Rated: 20

Alt - Max: MVA

Rated: 20

Deleted MVA

User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft

Ambient Temp: 30 °C

% Density: 0

BFR: _____

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

OK Cancel

2-Winding Transformer Editor - Info T05

Reliability: Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

40 MVA IEC Liquid-Fill Other 05 C 11 34.5 kV

Voltage Rating: kV FLA Nominal Bus kV Z Base

Prim: 11 2099 11 MVA

Sec: 34.5 665.4 33 40

Other 05

Power Rating: MVA

Rated: 40

Other 05

Rated: 40

Alt - Max: MVA

Rated: 45

Deleted MVA

User-Defined

Installation: Altitude 3000 ft

Ambient Temp: 30 °C

% Density: 0

BFR: _____

Type / Class: Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

OK Cancel

