

SKRIPSI

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN PADA JARINGAN DISTRIBUSI
RADIAL IEEE 33 BUS TERHUBUNG DENGAN PLTMH PADA KONDISI
OPERASI TERPISAH (*ISLANDING OPERATION*)**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



Oleh

SHINTA FEBIOLA
18.10.002.20201.024

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN PADA JARINGAN DISTRIBUSI
RADIAL IEEE 33 BUS TERHUBUNG DENGAN PLTMH PADA KONDISI
OPERASI TERPISAH (ISLANDING OPERATION)**

Oleh

SHINTA FEBIOLA

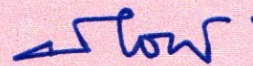
18.10.002.20201.024

Dosen Pembimbing I,



Ir. Yulisman, M.T.
NIDK. 8808220016

Dosen Pembimbing II,



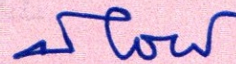
Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

**Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat,**



Masrik, S.T., M.T.
NIDN. 1005057407

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat

Bukittinggi, 02 Maret 2022

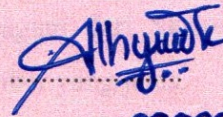
Mahasiswa,

Shinta Febiola
18.10.002.20201.024

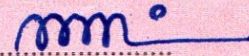
Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal.....:

1. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.
2. Ir. Budi Santosa, M.T.

1.

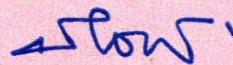


2.



Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,



Herris Yamashika, S.T., M.T.
NIDN. 1024038202

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Shinta Febiola

Tempat dan tanggal Lahir : Perawang, 24 Februari 1998

NIM : 18.10.002.20201.024

Judul Skripsi : Analisa Stabilitas Transien Pada Jaringan
Distribusi Radial Ieee 33 Bus Terhubung Dengan
Pltmh Pada Kondisi Operasi Terpisah (Islanding
Operation)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 02 Maret 2022

Yang membuat pernyataan,



Shinta Febiola

18.10.002.20201.024

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan pertambahan penduduk dan perkembangan beban yang terus meningkat. Salah satu cara untuk menjaga ketersediaan energi listrik yang mampu mengakomodasi perkembangan beban tanpa menambah kapasitas pembangkit utama adalah dengan menempatkan *Distributed Generation* (DG). Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan pembangkit tersebar PLTMH dalam menganalisa stabilitas transien pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus. Hasil yang paling baik dari beberapa simulasi yaitu pada penambahan 2 pembangkit tersebar pada bus 16 dan 27 yaitu semua nilai tegangan bus dalam keadaan normal dan mengurangi rugi-rugi daya totalnya menjadi 80,2 kw.

Kata kunci : DG, Stabilitas Transien, Aliran Distribusi



ABSTRACT

The need for electrical energy continues to increase along with technological developments and population growth and the development of increasing burdens. One way to maintain the availability of electrical energy that is able to accommodate the development of load without adding to the main generating capacity is to place Distributed Generation (DG). The method used in this study uses pltmh dispersed generation in analyzing transient stability on the IEEE 33 bus radial distribution network. The best results of some simulations are the addition of 2 plants spread on buses 16 and 27, namely all the voltage values of the bus under normal circumstances and reduce the total power losses to 80.2 kw.

Keywords: DG, Transient Stability, Distribution Line



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala berkat yang telah diberikannya, sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Skripsi ini, yaitu kepada:

1. Orang tua, kakak, dan adik serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
2. Bapak Masril, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
3. Bapak Hariyadi, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
4. Bapak Herris Yamashika, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, sekaligus Dosen Pembimbing, dan Dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
5. Bapak Ir.Yulisman, M.T., selaku Dosen Pembimbing I Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
6. Bapak/Ibu Dosen di lingkungan Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik UM Sumatera Barat yang telah memberikan dukungan dan ilmunya yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu;
7. Bapak/Ibu Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
8. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam Skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa Teknik Elektro.

Bukittinggi, 02 Maret 2022

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1 Tujuan penelitian.....	3
1.4.2 Manfaat penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait.....	5
2.2 Jaringan Distribusi	7
2.2.1 Jenis-jenis Jaringan Distribusi	8
2.3 <i>Photovoltaic</i> (Sel Surya).....	11
2.3.1 Jenis-jenis Sel Surya	13
2.4 <i>Distributed Generation</i> (DG)	14
2.4.1 Keuntungan <i>Distributed Generation</i>	15
2.4.2 Kerugian <i>Distributed Generation</i>	16
2.5 Sistem Distribusi IEEE 33 Bus	16
2.6 Aliran Daya.....	17

2.7	Kestabilan Transien.....	19
2.7.1	Penyebab Transien.....	20
2.8	<i>Software</i> Etap.....	21
2.9	Kestabilan Tegangan	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Lokasi Penelitian	24
3.2	Data Penelitian.....	25
3.2.1	Jenis penelitian.....	25
3.2.2	Sumber data	25
3.3	Metode Analisa.....	30
3.4	Bagan Alir Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisa Load Flow Sistem Distribusi IEEE 33 Bus Tanpa DG	33
4.2	Simulasi dan Analisa Load Flow Setelah Pemasangan DG	36
4.2.1	Simulasi Pemasangan Satu DG pada Bus 16.....	36
4.2.2	Simulasi Pemasangan Satu DG pada Bus 27	39
4.2.3	Simulasi Pemasangan Dua DG.....	42
4.3	Analisa Stabilitas Transien	46
4.3.1	Stabilitas Transien Pemasangan Satu DG pada Bus 16.....	46
4.3.2	Stabilitas Transien Pemasangan Satu DG pada Bus 27.....	49
4.3.3	Stabilitas Transien Pemasangan Dua DG	52
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No. Tabel		Halaman
Tabel 3.1.	Jadwal pelaksanaan penelitian.....	20
Tabel 3.2.	Uraian <i>flowchart</i> peneliian	17



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Halaman
Gambar 2.1. <i>Single line diagram</i> sistem distribusi IEEE 33 Bus	8
Gambar 2.2. Tipikal bus dari sistem tenaga	9
Gambar 2.3. Rangkaian dan bentuk gelombang arus rangkaian R-L.....	11
Gambar 2.4. Mode islanding operation	12
Gambar 2.5. Tampilan <i>worksheet software</i> ETAP 12.6.....	13
Gambar 3.1 Single Line Jaringan Distribusi Radial.....	22
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> penelitian.....	16



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan penambahan penduduk dan perkembangan beban yang terus meningkat namun tidak diimbangi dengan pembangkitan energi listrik yang memadai dapat mengganggu ketersediaan energi listrik bagi pelanggan. Salah satu cara untuk menjaga ketersediaan energi listrik yang mampu mengakomodasi perkembangan beban tanpa menambah kapasitas pembangkit utama adalah dengan menempatkan *Distributed Generation* (DG).

Distributed Generation (DG) merupakan suatu pembangkitan yang dipasang di jaringan distribusi dengan maksud untuk mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya yang timbul karena impedansi saluran. Dengan adanya pemasangan DG keandalan sistem diperlukan untuk mengamankan peralatan dari gangguan, mengurangi daerah gangguan dan meningkatkan kontinuitas penyaluran energi listrik, mengurangi transmisi dan sumber daya sistem distribusi, dan daya yang lebih baik kualitas.

Penempatan DG yang tepat seperti PLTMH dalam sistem distribusi masih sangat mempunyai masalah yang menantang untuk mendapatkan manfaat potensial maksimum mereka. Lokasi yang optimal dan ukuran *Distributed Generation* (DG) adalah kunci untuk meminimalkan kehilangan dan peningkatan profil tegangan dalam sistem distribusi radial.

Dalam hal ini pengusulan sensitivitas kerugian faktor penempatan DG dalam jaringan distribusi untuk kehilangan daya meminimalkan sambil mempertahankan profil tegangan dalam sistem dalam batas yang ditentukan. Pendekatan analitis diusulkan ukuran DG untuk meminimalkan kehilangan daya aktif, biaya operasi tahunan (instalasi, pemeliharaan, dan biaya kehilangan daya aktif). Hal ini diuji dalam kasus yang berbeda. Semua kasus dibandingkan dengan mengidentifikasi superioritas dari metode yang diusulkan. Metode yang diusulkan diuji pada IEEE

33 Bus *Distributed System* untuk menunjukkan efektivitas kinerja dalam perangkat lunak ETAP.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana stabilitas transien jika ada salah satu Pembangkit Mikrohidro yang lepas dari sistem ?.
- b. Bagaimana stabilitas transien pada kondisi saat 2 buah pembangkit mikrohidro tetap menyalurkan daya ke beban sedangkan sisi grid gagal menyalurkan daya ke beban (Kondisi *Islanding*) ?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini tidak menyimpang dari topik yang telah ditentukan maka penulis memberi batasan masalah sebagai berikut :

- a. Analisa akan dilakukan pada sistem jaringan radial IEEE 33 Bus.
- b. Dua Pembangkit Mikro Hidro diletakkan pada bus yang mempunyai nilai tegangan yang perlu ditingkatkan keandalannya.
- c. Simulasi dan analisa dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
- d. 2 PLTMH diletakkan pada bus 16 dengan kapasitas 149.6 kW dan bus 27 dengan kapasitas 2325.1 kW mengacu pada penelitian [1].

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

Memperoleh informasi pada kondisi transien ketika terjadi gangguan dengan adanya tambahan dua Pembangkit Mikrohidro di sistem jaringan radial IEEE 33 Bus.

1.4.2 Manfaat penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Manfaat ilmiah.

Manfaat ilmiah dari penelitian ini adalah dalam rangka memperkaya kajian tulisan tentang perkembangan keilmuan di bidang energi baru dan terbarukan terkhusus pada analisa stabilitas transien dengan penambahan pembangkit listrik tenaga mikrohidro di sistem jaringan Radial.

b. Manfaat terapan

Informasi yang diperoleh bisa digunakan untuk memberikan pilihan yang tepat bagi pemilihan pembangkit jenis *Distributed Generation* dalam meningkatkan keandalan pelayanan di sistem jaringan Radial.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan untuk memudahkan pemahaman pembaca dalam mengambil inti yang terdapat pada skripsi ini, maka skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan latar belakang pengambilan tema, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan sumber bacaan, teori-teori baik dari buku, jurnal dan hasil-hasil penelitian yang terkait dengan permasalahan dan tujuan yang diangkat dalam skripsi ini. Termasuk didalamnya dijelaskan penelitian relevan yang pernah dilakukan sebelumnya serta perbedaan dengan penelitian yang dilakukan penulis.

BAB III Metodologi Penelitian

Berisi tentang rencana dan prosedur penelitian yang dilakukan oleh penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan dan tujuan penelitian. Diantaranya penjelasan data penelitian, metode analisis data serta bagan alir penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab Menganalisa hasil simulasi dan membahas hasil simulasi.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil dan pembahasan.

Daftar Pustaka



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan sebagai landasan acuan teori yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi teori dapat berasal dari buku dan jurnal ilmiah. Selain itu, untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini.

Hertalina Anastassia, H., “*Optimasi Kapasitas Dan Peletakan Pembangkit Tersebar Berdasarkan Stabilitas Tegangan menggunakan HPSO*”, penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan pemasangan DG yaitu penentuan letak dan kapasitas DG menggunakan metode *Hybrid Particle Swarm Optimization* (HPSO) sehingga didapatkan kestabilan tegangan pada sistem dan mengurangi rugi daya pada saluran distribusi tenaga listrik.^[1]

Penelitian yang dilakukan oleh Ariyono yang berjudul “*Analisa Teknologi Fotovoltaik Sebagai Distributed Generation (DG) pada Sistem Distribusi Menggunakan Software Electrical Transient and Analysis Program (ETAP)*” Untuk memenuhi kebutuhan listrik di era ekonomi yang tumbuh sangat pesat ini membutuhkan banyak energi listrik. Oleh karena itu kualitas energi listrik perlu ditingkatkan. Letak pembangkit yang jauh dari beban juga menyebabkan tingginya nilai drop tegangan pada beberapa bus, selain itu juga menyebabkan rugi-rugi daya sistem yang cukup besar.

Metode yang bisa digunakan pada penelitian ini dengan memasang teknologi fotovoltaik sebagai *distributed generation (DG)* atau pembangkit terdistribusi yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utama. Pemasangan pembangkit ini harus diikuti dengan penentuan lokasi dan kapasitas yang sesuai. Uji coba penentuan lokasi, besar kapasitas dan berapa jatuh tegangan setelah di pasang fotovoltaik pada sistem distribusi IEEE 34 bus sistem radial menggunakan simulasi di beberapa titik.^[2]

J. Sridevi and V. U. Rani (2019) mengungkapkan bahwa sensitivitas

kerugian faktor penempatan DG di jaringan distribusi untuk kehilangan daya minimalisasi sambil mempertahankan profil tegangan dalam sistem dalam batas yang ditentukan. Pendekatan Analitis diusulkan untuk ukuran DG terbarukan seperti unit surya, angin, dan Hydel. Metode yang diusulkan dengan model photovoltaic dan turbin diuji pada IEEE 33 Sistem Terdistribusi Radial Bus untuk mendemonstrasikan kinerja dan efektivitas dalam perangkat lunak ETAP.^[3]

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di atas, penulis akan melakukan penelitian mengenai analisa stabilitas transien pada jaringan distribusi IEEE 33 bus yang terhubung dengan sumber energi terbarukan (PLTMH). Analisa ini akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 untuk memperoleh informasi pada kondisi transien ketika terjadi perubahan tegangan karena adanya tambahan dua Pembangkit Mikrohidro.

2.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk menuju kelompok beban. Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah)
Jaringan distribusi primer merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi dan berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (contoh 6 kV atau 20 kV).
- b. Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah)
Jaringan distribusi sekunder merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (contoh 220/380 V).

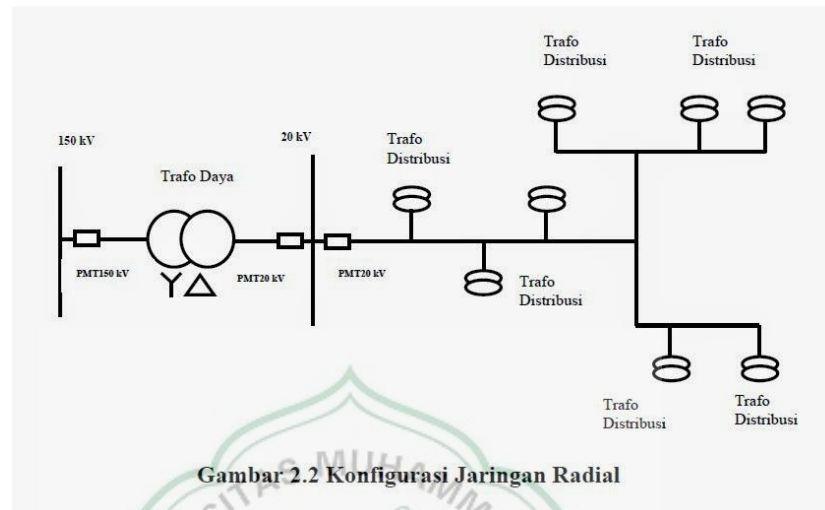
Gardu distribusi merupakan tempat/sarana dimana terdapat transformator step down yaitu transformator yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Berdasarkan konfigurasi jaringan, jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Sistem distribusi jaringan radial

- b. Sistem distribusi jaringan loop
- c. Sistem distribusi jaringan spindle

2.2.1 Jenis – Jenis Jaringan Distribusi

1. Sistem Distribusi Jaringan Radial



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

Gambar 2.1 sistem distribusi radial

Sistem distribusi jaringan radial ini merupakan bentuk jaringan distribusi yang paling sederhana dan banyak digunakan karena biaya yang murah. Jaringan ini disebut jaringan radial karena sistem ini memiliki beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan di atas tiang. Pada konfigurasi radial terdapat beberapa kekurangan, misalnya dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan daya yang kurang baik. Kualitas daya yang kurang baik ini disebabkan oleh rugi tegangan dan rugi daya yang relatif besar. Kontinuitas pelayanan daya yang kurang baik disebabkan hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai daya, sehingga saat jalur tersebut mengalami gangguan, maka akan terjadi pemadaman total.

Kelemahan lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi paling ujung kurang baik yang disebabkan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran. Untuk melokalisir gangguan pada bentuk distribusi radial dilengkapi dengan peralatan

pengaman yang berfungsi untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2. Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil. Sistem jaringan distribusi loop dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Distribusi Loop

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

1. Bentuk open loop, bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. Bentuk close loop, bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

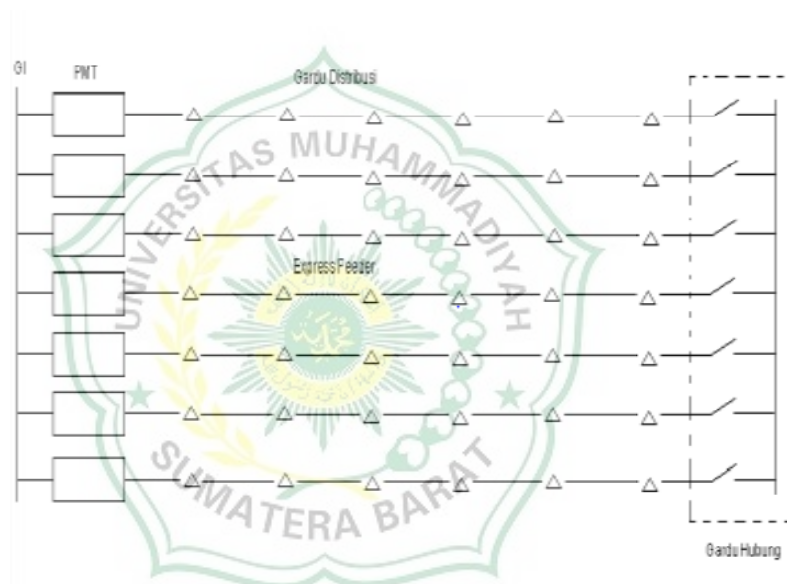
Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari

struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial.

Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar. Sistem jaringan distribusi spindle dapat dilihat pada gambar 2.6:



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi Spindel

2.3 PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro)

Pembangkit listrik mikrohidro merupakan salah satu *jenis Distributed Generation*. Pembangkit listrik mikrohidro adalah pembangkitan listrik dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Mikrohidro berasal dari kata mikro yang berarti kecil dan hydro artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan

generator listrik.

Generator yang digunakan untuk mikrohidro dirancang mudah untuk dioperasikan dan dipelihara, didesain menunjang keselamatan, tetapi peralatan dari listrik akan menjadi berbahaya bila tidak digunakan dengan baik.

Pembangkit tenaga listrik mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya maka semakin besar energi yang dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Pembangkit tenaga mikrohidro bekerja dengan cara memanfaatkan semaksimal mungkin energi potensial air. Energi ini secara perlahan diubah menjadi energi mekanik saat melalui nosel yang ditembakkan untuk memutar sudu-sudu turbin. Energi mekanis dari putaran turbin akhirnya diubah menjadi energi listrik melalui putaran generator. Untuk menghitung daya mekanik yang dibangkitkan oleh turbin generator adalah :

$$P = 9,8 \cdot \eta \cdot H \cdot Q \quad (2.1)$$

dimana :

- P = daya terbangkit (kW)
H = tinggi terjun air (m)
Q = debit air (m³/det)
 η = efisiensi turbin generator

Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut :

- a. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam,
- b. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil
- c. Tidak menimbulkan pencemaran,
- d. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.

Tabel 2.1 Klasifikasi PLTA Berdasarkan Kapasitasnya

NO	JENIS PLTA	KAPASITAS
1.	PLTA besar	>100 MW
2.	PLTA menengah	15 – 100 MW
3.	PLTA kecil	1 – 15 MW
4.	PLTM (mini hidro)	100 kW – 1 MW
5.	PLTMH (mikro hidro)	5 kW – 100 Kw
6.	Pico hidro	< 5 kW

Komponen PLTMH secara umum terdiri dari:

a. Bendungan (*Weir*) dan Bangunan Penyadap (*Intake*)

Bendungan merupakan bagian yang sangat penting pada suatu pembangkit listrik tenaga air, karena bendungan merupakan tempat penampungan air. Bendungan untuk instalasi PLTMH dapat berupa bendungan beton atau bendungan beronjong. Pemilihan jenis bendungan yang terbaik untuk suatu tempat tertentu merupakan suatu masalah kelayakan teknis dan biaya. Kelayakan dipengaruhi oleh keadaan topografi, geologis dan cuaca. Perlengkapan lainnya adalah : penjebak/saringan sampah. Pada umumnya PLTMH, merupakan pembangkit *type run of river* sehingga bangunan intake dibangun berdekatan dengan bendungan dengan memilih dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir.

1. Saringan (*Sand trap*)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran–kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.

2. Pintu pengambilan air (*Intake*)

Pintu Pengambilan Air adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan.

3. Pipa pesat (*Penstok*)

Fungsinya untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau kolam tanda menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin. Konstruksinya harus diperhitungkan agar dapat menerima tekanan besar yang timbul termasuk tekanan dari pukulan air. Pipa pesat merupakan bagian yang cukup mahal, untuk itu pemilihan pipa yang tepat sangat penting.

4. Katub utama (*main value atau inlet value*)

Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katub utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katub utama digunakan pompa hidrolis.

5. *Power House*

Adalah rumah tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH. Peralatan Mekanik seperti Turbin dan Generator berada dalam Rumah Pembangkit, demikian pula peralatan elektrik seperti kontroler. Dalam desain *powerhouse*, pondasi turbin - generator harus dipisahkan dari pondasi bangunan power house. Di samping itu perlu dipikirkan keleluasaan bongkar pasang turbin dan generator. Persoalan ini masih ditambah lagi dengan perlunya saluran pembuang di dalam sampai keluar *power house*.

b. Turbin

Turbin merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Turbin adalah mesin berputar yang berfungsi untuk mengambil energi mekanik dari aliran fluida.

Dalam PLTMH digunakan turbin air. Turbin ini akan mengkonversikan menjadi energi gerak angular. Turbin air memiliki *casing* berupa baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluida. Energi diperoleh dari tenaga *shaft* yang berputar. Turbin dapat memiliki kepadatan tenaga yang tinggi. Ini dikarenakan kemampuan turbin untuk beroperasi pada kecepatan sangat tinggi. Namun pada PLTMH, turbin yang dipakai memiliki kepadatan energi yang rendah. Sebab

aliran airnya juga tak terlalu deras. Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.

c. **Generator**

generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo volt Ampere (kVA).

Berikut ini cara perawatan generator *mikrohidro* agar berfungsi dengan baik :

1. Jangan menyentuh koneksi listrik saat generator beroperasi
2. Cek keketatan mur dan baut generator
3. Cek bila temperature generator tidak normal dan saat ada *noise* tidak wajar
4. Bersihkan ventilasi dan kipas generator dari debu data tidak beroperasi Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui kecepatan putar generator, yakni : $n = 120.f/p$

d. **Penghubung turbin dengan generator**

penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya. Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (*rpm*) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator. Roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli. Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran rotor pada generator.

e. **Governor**

Governor adalah suatu komponen yang digunakan sebagai *interface* antara turbin penggerak dengan generator. Fungsi utama governor adalah mengatur kecepatan putaran turbin agar terjadi kestabilan sistem secara keseluruhan terhadap adanya variasi beban atau gangguan pada sistem.

2.4 Pembangkitan Terdistribusi (*Distributed Generation*)

Pembangkitan terdistribusi (*Distributed Generation*) adalah penggunaan pembangkit dengan kapasitas kecil yang terpasang pada titik-titik strategis dari suatu sistem tenaga listrik atau lokasi pusat beban. Pembangkitan terdistribusi dapat digunakan untuk menyuplai permintaan daya untuk konsumen lokal atau diintegrasikan kedalam grid untuk memberikan daya tambahan pada grid.

Berdasarkan daya yang dihasilkan DG dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. DG yang menghasilkan daya aktif (P) saja, seperti *photovoltaic*.
2. DG yang menghasilkan daya reaktif (Q) saja, seperti kompensator sinkron.
3. DG yang menghasilkan daya aktif (P) tetapi menyerap daya reaktif, seperti generator induksi.
4. DG yang menghasilkan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), seperti generator sinkron.

Berdasarkan besaran daya yang dihasilkan, DG dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu: [2]

1. *Micro-DG* : ~1 kW - 5 kW
2. *Small DG* : 5 kW - 5 MW
3. *Medium DG* : 5 MW - 50 MW
4. *Large DG* : 50 MW - 300 MW

Pemasangan DG pada sistem tenaga sangat mempengaruhi aliran daya dan keadaan tegangan di sisi konsumen dan peralatan. Pengaruh ini dapat memberikan pengaruh yang positif atau pengaruh yang negatif, tergantung kepada DG dan karakteristik sistem distribusi.

Tegangan pada sistem distribusi radial diatur dengan mengatur tap transformator pada gardu induk. Dengan penambahan DG, tegangan pada feeder berubah arah dan besarnya aliran daya aktif dan reaktif. Pengaruh DG terhadap tegangan bisa berupa pengaruh yang positif maupun negatif tergantung karakteristik sistem distribusi, DG dan letak DG.

Penentuan letak DG merupakan salah satu kriteria penting untuk mendapatkan keandalan sistem yang baik dengan mengurangi kerugian daya. Penempatan DG untuk mengurangi kerugian daya memiliki kriteria yang sama

seperti penempatan kapasitor bank untuk mengurangi kerugian daya. Perbedaan utamanya adalah DG memberikan daya aktif dan reaktif (P dan Q), sementara kapasitor bank hanya memberikan daya reaktif (Q).

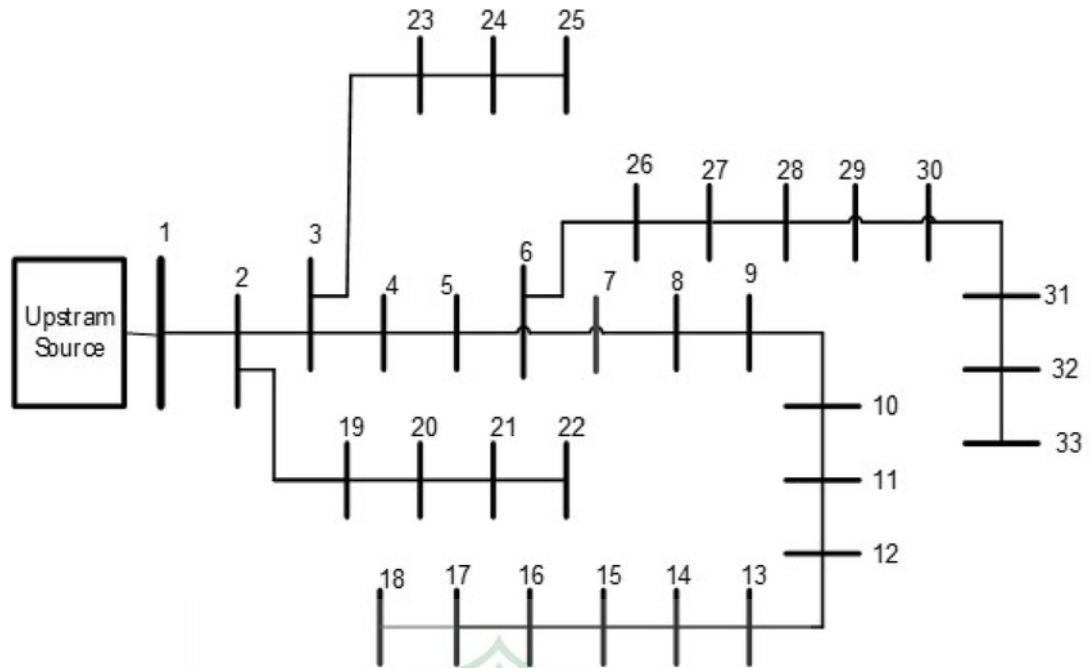
Penentuan letak DG terbaik dapat diperoleh dari analisa aliran daya, untuk mendapatkan tempat terbaik dan mengurangi kerugian daya sistem. Tetapi dalam penentuan letak DG ini harus memperhatikan batasan-batasan sistem sehingga tidak mengganggu sistem.

Pembangkitan terdistribusi dapat diaplikasikan pada banyak cara, beberapa contohnya adalah sebagai berikut :

- a. Untuk kestabilan jaringan pada penggunaan peralatan dengan respon yang cepat untuk pemeliharaan keamanan sistem transmisi.
- b. DG dapat menyediakan tenaga cadangan selama sistem utiliti putus, untuk fasilitas-fasilitas umum yang membutuhkan pelayanan kontinyu.
- c. DG dapat menyediakan kualitas daya yang lebih baik untuk peralatan elektronik.
- d. Untuk suplai daya reaktif dan pengatur tegangan dari pembangkitan dengan meng-injeksikan dan menyerap daya reaktif untuk mengontrol tegangan pada grid.

2.5 Sistem IEEE 33 Bus

Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus sistem yang digunakan adalah sistem distribusi radial IEEE 33 bus yang terdiri dari 33 bus. Terdapat 32 bus beban dan 1 slack bus yang digunakan sebagai bus referensi. Tegangan yang diberikan pada setiap bus sebesar 12.66 kV, dan base daya sebesar 100 MVA. Standar sistem IEEE 33 bus adalah ANSI (*American National Standard Institute*). ANSI menggunakan nilai frekuensi sebesar 60 Hz. Single line diagram IEEE 33 bus dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.4 Single line diagram sistem distribusi IEEE 33 Bus

2.6 Aliran Beban

Studi aliran daya/beban merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang.

Studi aliran daya dapat mengetahui tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam system, kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.

Untuk menyelesaikan permasalahan aliran daya, sebuah sistim tenaga 3 fasa diasumsikan beroperasi pada keadaan seimbang dan menggunakan model fasa tunggal. Secara umum, bus-bus pada sistim tenaga dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Bus Referensi Swing atau Slack Bus. Bus ini berfungsi untuk mensuplai kekurangan daya aktif P dan daya reaktif Q dalam sistem. Parameter atau besaran yang di tentukan adalah tegangan V dan sudut fasa . Setiap sistem tenaga listrik hanya terdapat 1 bus referensi, yaitu

bus yang didalamnya terdapat pembangkit atau generator yang memiliki kapasitas terbesar di antara pembangkit yang lain didalam sistem.

2. *Bus Generator Voltage Control (PV Bus)*. Bus Bus ini merupakan bus yang tegangannya dapat dikontrol melalui pengaturan daya reaktif agar tegangannya tetap.
3. Bus Beban *Load Bus (PQ Bus)*. Bus ini adalah bus yang terhubung dengan beban sistem. Parameter atau besaran yang ditentukan adalah daya aktif P dan daya reaktif Q, maka bus ini di sebut juga PQ bus.

Menurut Stevenson 1996, data-data yang dibutuhkan untuk analisis aliran daya adalah sebagai berikut :

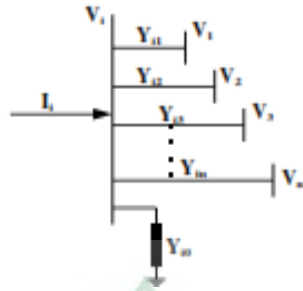
- a. Data pembangkit generator, yaitu kapasitas daya aktif P dalam satuan Megawatt MW dan reaktif Q dalam satuan Megavolt Ampere MVA , tegangan terminal V dalam satuan Kilovolt kV dan reaktansi sinkron X dalam satuan Ohm Ω .
- b. Data Transformator Daya, yaitu kapasitas tiap trafo dalam satuan Megavolt Ampere MVA, tegangan V dalam satuan Kilovolt kV dan reaktansi bocor X dalam satuan Ohm Ω .
- c. Data saluran transmisi, yaitu resistansi R dalam ohm Ω dan reaktansi X dalam ohm Ω .
- d. Data beban, yaitu daya aktif P dalam Megawatt MW dan daya reaktif Q dalam satuan Megavolt Ampere MVA

Adapun tujuan dari studi analisa aliran daya antara lain (Sulasno,1993):

1. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan.
2. Untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam sistem.
3. Untuk mengetahui kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.
4. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.

5. Untuk memperoleh kondisi awal untuk studi-studi selanjutnya seperti : studi hubung singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.

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



Gambar 2.5 Tipikal bus dari sistem tenaga

2.7 Fenomena Transien

Penyebab fenomena transien adalah karena adanya perubahan parameter rangkaian, yang biasanya terjadi akibat pensaklaran, rangkaian terbuka (*open circuit*) atau hubung singkat (*short circuit*), perubahan dalam operasi sumber, dll. Transient merupakan perubahan variabel tegangan dan arus yang berlangsung saat peralihan dari satu kondisi stabil ke kondisi yang lain. Perubahan arus, tegangan selama transien tidak berlangsung seketika (*instant*) dan membutuhkan waktu, walaupun perubahan ini terjadi secara cepat dalam hitungan milidetik atau bahkan mikrodetik.

Perubahan yang sangat cepat ini bagaimanapun juga tidak dapat terjadi secara seketika karena proses transien dicapai melalui pertukaran energi, yang biasanya tersimpan dalam medan magnet dari induktansi dan atau medan listrik dari kapasitansi. Perubahan energi tidak dapat terjadi secara mendadak karena akan menghasilkan daya yang tidak terbatas (daya adalah turunan dari energi,

$$P = \frac{dW}{dt} \text{ yang tidak mungkin terjadi dalam keadaan sesungguhnya.}$$

Dalam hal ini, transien dapat didefinisikan sebagai perilaku rangkaian diantara dua keadaan tunak, yaitu keadaan tunak yang lama (sebelum perubahan)

dan keadaan tunak yang baru.

Penyebab terjadinya transient antara lain :

- a. *Load switching* (penyambungan dan pemutusan beban)
- b. *Switching kapasitor*
- c. *Transformer inrush current*
- d. *Recovery voltage*

Transien yang terjadi pada saat pembukaan saklar maka akan mengakibatkan terjadinya perubahan besar pada arus yang dapat dilihat pada gambar 2.4., berikut :



Gambar 2.6 Rangkaian dan bentuk gelombang arus rangkaian R-L

Pada bentuk gelombang arus untuk rangkaian R-L, didapat :

i = Arus awal (ampere)

V = tegangan (volt)

R = tahanan (ohm)

L =induktansi (henry)

i_s = arus steady state (ampere)

i_t = arus transien (ampere)

t =waktu (detik)

$$\text{Sehingga : } i_t = A.e^{-\frac{R}{L}t} \quad (2.6)$$

dengan :

i_t = arus transien (ampere)

A = konstanta

R = tahanan (ohm)

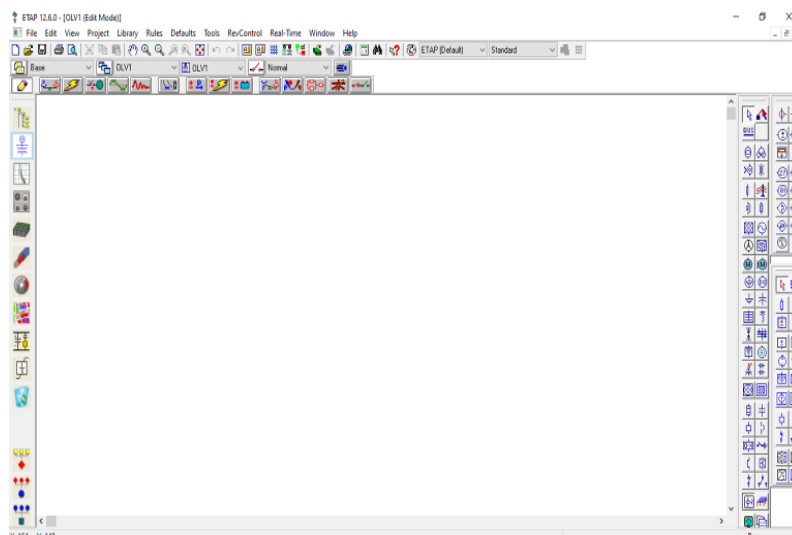
L = induktansi (henry)

2.8 Software ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Software ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamananan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi.

Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.



Gambar 2.7 Tampilan worksheet software ETAP 12.6.

2.9 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan diartikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan tegangan pada semua bus dari sistem setelah mengalami gangguan. Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik maka tegangan dapat mengalami penurunan atau kenaikan. Hal ini, tergantung pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kesetimbangan antara supply daya pembangkit dan kebutuhan beban. Klasifikasi kestabilan tegangan diklasifikasikan menjadi 2:

1. Kestabilan tegangan akibat gangguan besar terjadi kasus generator outage dan juga short circuit akan terjadi penurunan tegangan steady pada saat mengalami 2 gangguan besar tersebut. Efek dari 2 gangguan diatas dapat menyebabkan nilai tegangan menjadi undervoltage maupun overvoltage sehingga harus diamankan secepat mungkin
2. Kestabilan tegangan akibat gangguan kecil akibat seperti perubahan atau fluktuasi beban pada sistem kelistrikan akan mempengaruhi nilai dari tegangan di sistem. Contoh dari kestabilan jangka pendek adalah kedip tegangan (*voltage sags*) dan kenaikan tegangan (*swells*). Gangguan yang biasanya terjadi adalah lepasnya beban secara tiba-tiba maupun hilangnya sinkron dari salah satu pembangkit sehingga tegangan menjadi turun secara drastis.

Secara umum, gangguan kestabilan tegangan dibedakan menjadi dua yaitu kestabilan tegangan jangka panjang dan kestabilan tegangan jangka pendek. Gangguan kestabilan tegangan jangka panjang dapat mengakibatkan hal-hal berikut:

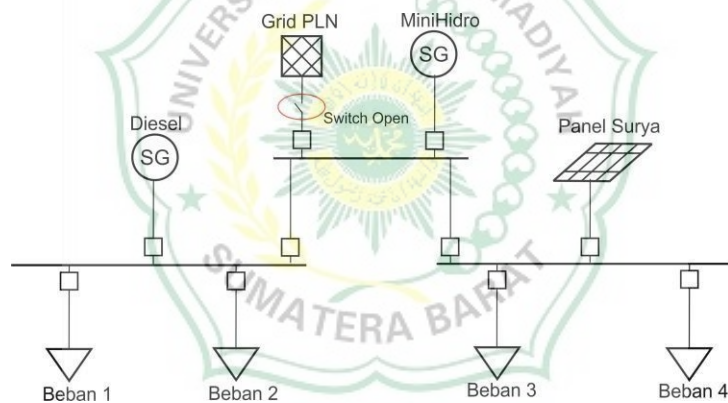
1. Tegangan mengalami undervoltage, yaitu tegangan dibawah 95% dari tegangan normal.
2. Tegangan normal yaitu tegangan yang pas berada di 95% - 105%.
3. Tegangan mengalami overvoltage, yaitu tegangan diatas 105% dari tegangan normal.

2.10 Operasi Terpisah (*Islanding Operation*)

Islanding Operation (operasi terpisah) adalah pola pengamanan sistem dengan memisahkan unit pembangkit dari sistem tenaga listrik secara otomatis dengan hanya memikul beban di sekitarnya, terbatas sesuai kemampuan unit pembangkitnya apabila sistem mengalami gangguan.

Pelaksanaannya dengan membuka beberapa PMT di gardu tertentu secara otomatis menggunakan UFR, sehingga terbentuk suatu sistem yang terisolasi dari sistem interkoneksi. Strategi yang diterapkan adalah apabila sistem mengalami gangguan besar dan pelepasan beban yang dilakukan oleh relai UFR maupun relai lain tidak sebanding dengan pembangkit yang keluar.

Suatu *island operation* dikatakan optimal apabila memiliki keseimbangan antara supply dan demand. Sehingga frekuensi sistem yang dipulihkan berada pada frekuensi 60 Hz dengan toleransi $\pm 10\%$.

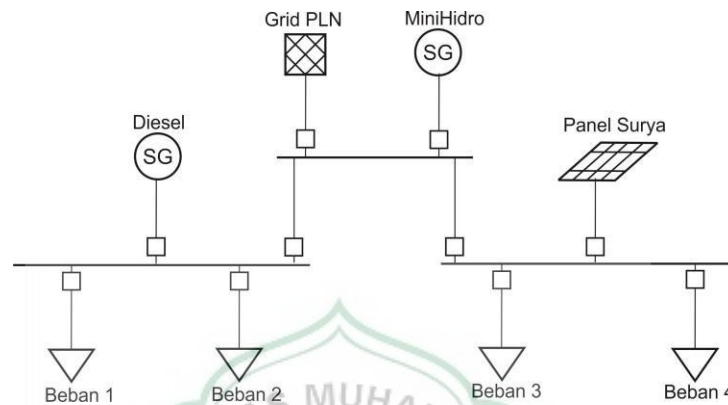


Gambar 2.8 Mode Operasi *Islanding*

Kondisi *islanding* adalah pada saat microgrid terputus dari grid utama dan beban dalam sistem tersebut sepenuhnya disuplai oleh *Distributed Generation*. Dalam kasus terjadi gangguan, microgrid berubah menjadi *mode islanding* agar tetap dapat mensuplai beban. *Islanding* menyebabkan *microgrid* beroperasi tanpa ada bantuan dari grid utama. *Distributed Generation* (DG) mensuplai beban secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan sistem. Perubahan yang cepat dan tiba-tiba dari pembangkitan mengikuti jumlah beban menyebabkan deviasi repon frekuensi selama *islanding*.

Mode operasi *Grid-connected* merupakan mode operasi yang menghubungkan

sistem *Micro Grid* dengan grid utama (PLN). Pada mode operasi ini pembangkit-pembangkit tersebar (DG) bersama dengan PLN dalam memenuhi kebutuhan sistem. Mode operasi ini lebih mengutamakan peningkatan *power factor*, dan optimisasi nilai tegangan pada bus-bus tertentu. Berikut pemodelan sederhana sistem operasi *Grid-connected* yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.9 mode operasi grid connected

2.11 Losses (rugi daya)

Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban. Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban, Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugi-rugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya dan tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan.

a. Rugi-Rugi Saluran

Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya.

Panjang dari suatu penghantar tergantung dari jarak distribusi ke pelanggan.

Sehingga nilai tersebut tidak dapat diubah secara bebas. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Parameter ini dapat diubah-ubah tergantung dari pemilihan bahan penghantar yang digunakan. Selain itu parameter lain yang dapat diubah adalah luas penampang penghantar yang digunakan, 15 dimana semakin besar luas penampang penghantar yang digunakan akan mengurangi resistansi saluran. Akan tetapi dalam perubahan luas penampang harus memperhatikan faktor efisiensinya.

b. Rugi-Rugi Transformator

Dalam unjuk kerjanya, trafo memiliki rugi-rugi yang harus diperhatikan. Rugi-rugi tersebut (Sugianto,dkk 2014) adalah sebagai berikut:

1. Rugi-rugi Tembaga merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh adanya tahanan resistif yang dimiliki oleh tembaga yang digunakan pada bagian lilitan trafo, baik pada bagian primer maupun sekunder trafo.
2. *Eddy Current* (arus eddy) merupakan rugi-rugi panas yang terjadi pada bagian inti trafo. Perubahan fluks menyebabkan induksi tegangan pada bagian inti besi trafo dengan cara yang sama seperti kawat yang mengelilinginya. Tegangan tersebut menyebabkan arus berputar pada bagian inti trafo. Arus eddy akan mengalir pada bagian inti trafo yang bersifat resistif. Arus eddy akan mendisipasikan energi kedalam inti besi trafo yang kemudian akan menimbulkan panas.
3. Rugi-rugi Hysteresis Rugi-rugi histerisis merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan 16 pengaturan daerah magnetik pada bagian inti trafo. Dalam pengaturan daerah magnetik tersebut dibutuhkan energi. Akibatnya akan menimbulkan rugi-rugi terhadap daya yang melalui trafo. Rugi-rugi tersebut menimbulkan panas pada bagian inti trafo.
4. Fluks bocor Fluks bocor merupakan fluks yang terdapat pada bagian primer maupun sekunder trafo yang lepas dari bagian inti dan kemudian bergerak melalui salah satu lilitan trafo. Fluks lepas tersebut akan menimbulkan self-inductance pada lilitan primer dan sekunder trafo.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang diangkat dari paper, jurnal dan text book. Pengerjaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Kampus III Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, yang terletak di Jl. By Pass Aur Kuning, No. 1 km. 9, Kelurahan Tarok Dipo, Kecamatan Guguk Panjang, Kota Bukittinggi.

3.2 Data Penelitian

Pada data penelitian diuraikan mengenai jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data serta metode yang digunakan.

3.2.1 Jenis penelitian

Jenis penelitian yang digunakan oleh penulis yakni jenis penelitian kuantitatif dengan metode Eksperimen. Penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang baku, terencana, terstruktur dengan jelas dan tepat. Metode Eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk menguji hipotesis atau objek yang dipelajari yang berhubungan dengan sebab-akibat.

3.2.2 Sumber data

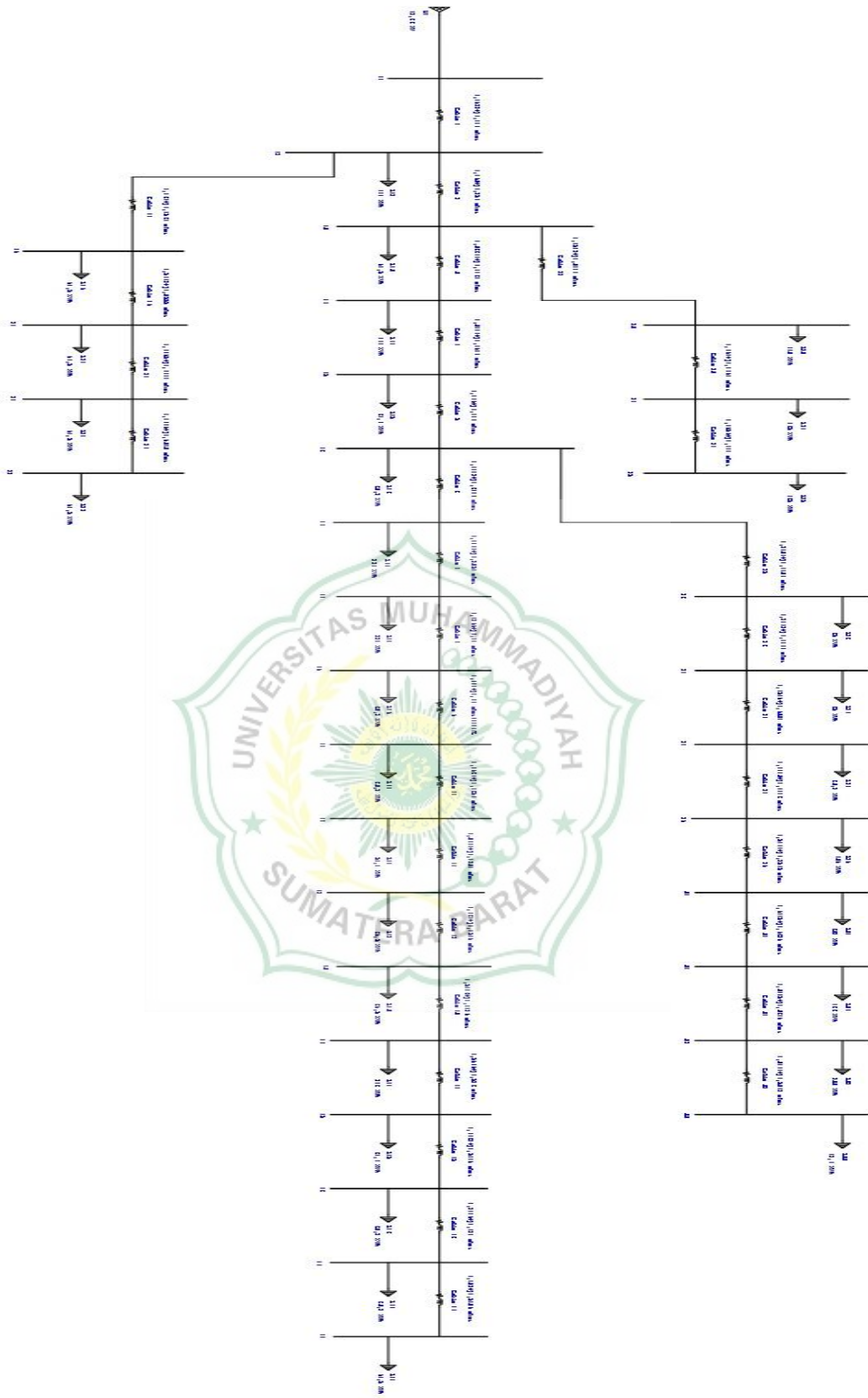
Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan tes case sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Lokasi penempatan dan besar berdasarkan hasil penelitian [1]. Perencanaan yang dilakukan membuat single line diagram jaringan distribusi radial IEEE 33 bus, sebelum dilakukan perencanaan perlu diketahui spesifikasi masing data yang akan digunakan.

a. Perancangan single line diagram

Perencanaan ini terdiri dari 33 bus, yang terdapat 32 beban dan 1 sumber

pembangkit, proses ini dilakukan di aplikasi etap. Berikut hasil perencanaan yang terdapat pada gambar 3.1





Gambar 3.1 *Single Line* Jaringan Distribusi Radial

Berikut langkah- langkah pemodelan IEEE 33 Bus :

- a. Jalankan software ETAP versi 12.6.0
- b. Pilih mode edit
- c. Tarik power grid dari library ke lembar kerja. Berikut masukkan data Power Grid yaitu :
 1. Operation mode : swing
 2. Rate kv : 12,66
- d. Tarik masing-masing bus dari bus 1 hingga bus 33 ke lembar kerja. Lakukan konfigurasi pada masing-masing bus. Berikut masukkan data bus 1 hingga bus 33 yaitu :
 1. double klik bus
 2. pada tab info, masukkan id sesuai nama bus
 3. masukkan nominal kv tiap bus sebesar : 12,66
- e. Tambahkan 1 high voltage cb dari library ke lembar kerja. Hubungkan high voltage cb dengan Power Grid dan Bus 1
- f. Lalu masing-masing bus diberi peggantar (kabel). Lakukan konfigurasi pada masing-masing peggantar. Berikut masukkan data cabel yaitu :
 1. double klik kabel
 2. pada tab info masukkan id sesuai nama kabel dan masukkan length : 1 ft
 3. pada tab impedance masukkan data sesuai dengan data pada penelitian [1]. Data impedansi ini berguna sebagai hambatan listrik yang dihasilkan dalam rangkaian listrik Ketika arus bolak-balik mencoba melewatinya. Berikut adalah data impedansi yang akan di input terlihat pada table 3.2.

Table 3.2 Data impedansi saluran Jaringan distribusi Radial.

Dari bus	Ke bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	0,0922	0,0564
2	3	0,4930	0,3012
3	4	0,3661	0,2236
4	5	0,3811	0,2329
5	6	0,8190	0,8484

Dari bus	Ke bus	R (ohm)	X (ohm)
6	7	0,1872	0,7425
7	8	1,7117	1,4828
8	9	1,0299	0,8880
9	10	1,0440	0,8880
10	11	0,1967	0,0781
11	12	0,3744	0,1484
12	13	1,4680	1,3858
13	14	0,5416	0,8554
14	15	0,5009	0,6312
15	16	0,7462	0,6538
16	17	1,2889	2,0652
17	18	0,7320	0,0018
2	19	0,1640	0,1876
19	20	1,5042	1,6266
20	21	0,4095	0,5740
21	22	0,7089	1,1247
3	23	0,4512	0,3700
23	24	0,8980	0,8509
24	25	0,8959	0,8412
6	26	0,2031	0,1240
26	27	0,2842	0,1736
27	28	1,0589	1,1205
28	29	0,8043	0,8407
29	30	0,5074	0,3102
30	31	0,9745	1,1554
31	32	0,3105	0,4342
32	33	0,3411	0,6362

g. Tarik static load dari library ke tiap-tiap bus yang diberi beban. Static load terdapat pada bus 1 hingga bus 33, berikut langkah – langkah nya yaitu :

1. Double klik static load

2. Pada tab loading masukkan nilai KW dan KVAR. Berikut tabel nilai kw dan kvar pada masing-masing beban :

Table 3.1 data beban di jaringandistribusi IEEE 33 Bus

Bus		Beban	
ID	kV	MW	Mvar
1	12.660		
2	12.660	0,100	0,060
3	12.660	0,090	0,040
4	12.660	0,120	0,080
5	12.660	0,060	0,030
6	12.660	0,060	0,020
7	12.660	0,200	0,100
8	12.660	0,200	0,100
9	12.660	0,060	0,020
10	12.660	0,060	0,020
11	12.660	0,045	0,030
12	12.660	0,060	0,035
13	12.660	0,060	0,035
14	12.660	0,120	0,180
15	12.660	0,060	0,010
16	12.660	0,060	0,020
17	12.660	0,060	0,020
18	12.660	0,090	0,040
19	12.660	0,090	0,040
20	12.660	0,090	0,040
21	12.660	0,090	0,040
22	12.660	0,090	0,040
23	12.660	0,090	0,050
24	12.660	0,420	0,200
25	12.660	0,420	0,200
26	12.660	0,060	0,025
27	12.660	0,060	0,025
28	12.660	0,060	0,020
29	12.660	0,120	0,070
30	12.660	0,200	0,600
31	12.660	0,150	0,070

32	12.660	0,210	0,100
33	12.660	0,060	0,040
Total beban		3,72	2,40

3.3 Metode Analisa

Melakukan simulasi gangguan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan mengamati perubahan parameter ketika mengalami gangguan pada masa transien. Simulasi dilakukan dalam beberapa skenario, yaitu;

1 Analisa Load Flow dilakukan pada Sistem Distribusi radial IEEE 33 bus

2 Simulasi dan analisa dilakukan pada saat penambahan *Distributed Generation* pada bus 16

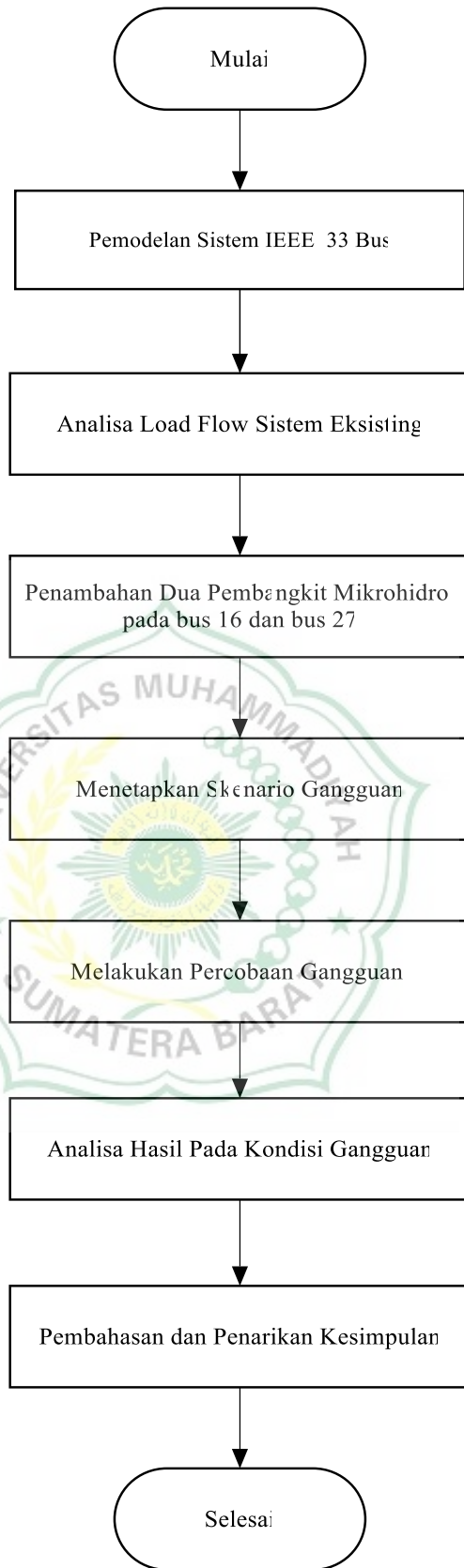
3 Simulasi dan analisa dilakukan pada saat penambahan *Distributed Generation* pada bus 27.

4 Simulasi dan analisa dilakukan pada saat penambahan *Distributed Generation* pada bus 16 dan bus 27

3.4 Bagan Alir Penelitian

Pada analisa stabilitas transien pada Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus yang terhubung dengan sumber Energi Terbarukan (PLTMH) ini dilakukan dengan beberapa langkah-langkah.

Adapun alur dari penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan oleh gambar 3.6 berikut ini :

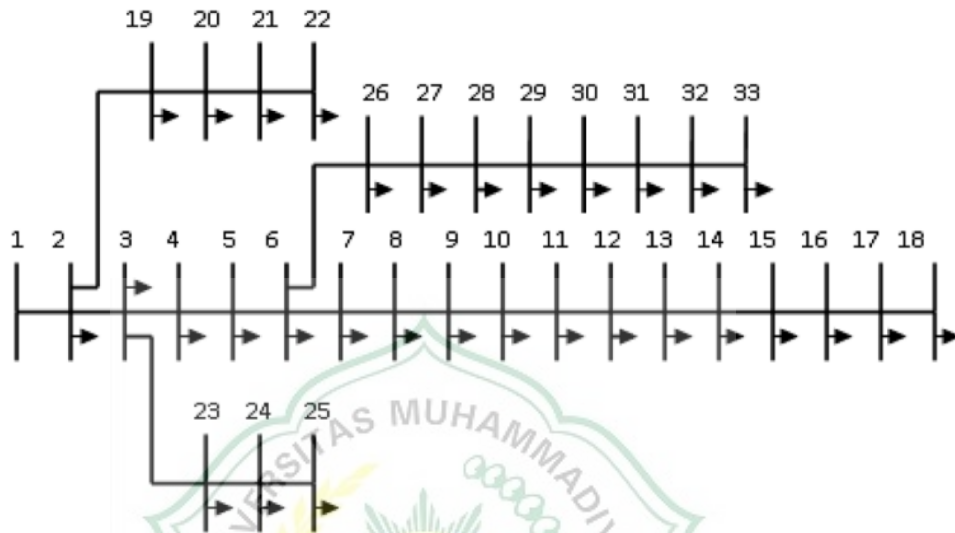


Gambar 3.1. *Flowchart* penelitian

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Analisa *Load Flow* Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Tanpa Adanya Penambahan Pembangkit *Distributed Generation*



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Tanpa Adanya Penambahan Pembangkit *Distributed Generation*

Berdasarkan data single line diagram sistem distribusi radial IEEE 33 Bus dilanjutkan dengan mensimulasikan aliran daya (*load flow*) jaringan distribusi IEEE 33 Bus menggunakan *Software Electrical Transient and Analysis Protection (ETAP)*. Dari pengolahan data tersebut didapatkan profil tegangan dan rugi-rugi daya (*losses*), dimana hasil simulasi yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data drop tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi	
		%	
1	12,660	100,000	Normal
2	12,660	99,729	Normal
3	12,660	98,455	Normal

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi	
		%	
4	12,660	97,792	Normal
5	12,660	97,140	Normal
6	12,660	95,507	Normal
7	12,660	95,169	Normal
8	12,660	93,936	Under Voltage
9	12,660	93,360	Under Voltage
10	12,660	93,360	Under Voltage
11	12,660	93,283	Under Voltage
12	12,660	93,149	Under Voltage
13	12,660	92,566	Under Voltage
14	12,660	92,334	Under Voltage
15	12,660	92,215	Under Voltage
16	12,660	92,100	Under Voltage
17	12,660	91,930	Under Voltage
18	12,660	91,879	Under Voltage
19	12,660	99,677	Normal
20	12,660	99,324	Normal
21	12,660	99,255	Normal
22	12,660	99,192	Normal
23	12,660	98,116	Normal
24	12,660	97,486	Normal
25	12,660	97,173	Normal
26	12,660	95,341	Normal
27	12,660	95,121	Normal
28	12,660	94,140	Under Voltage
29	12,660	93,436	Under Voltage
30	12,660	93,132	Under Voltage

31	12,660	92,777	Under Voltage
32	12,660	92,699	Under Voltage
33	12,660	92,675	Under Voltage

Dari data tabel 4.1 di atas berdasarkan simulasi aliran daya pada sistem distribusi IEEE 33 bus yang telah dilakukan, dapat dilihat 16 bus yang memiliki nilai tegangan dalam keadaan normal dan 17 bus lainnya mengalami jatuh tegangan.

Tabel 4.2 data rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus

CKT / Branch	From-To Bus Flow		Losses	
	ID	MW	MVAr	KW
Cable1	3,553	2,272	10,2	5,2
Cable2	3,087	2,048	42,4	21,6
Cable18	0,357	0,159	0,2	0,1
Cable3	2,066	1,555	15,8	8,0
Cable22	0,891	0,433	2,8	1,9
Cable4	1,936	1,470	14,7	7,5
Cable5	1,865	1,434	30,0	25,9
Cable6	0,955	0,548	1,6	5,1
Cable25	0,825	0,842	1,9	1,0
Cable7	0,772	0,452	9,4	6,8
Cable8	0,586	0,357	3,4	2,5
Cable9	0,531	0,337	0,0	0,0
Cable10	0,478	0,320	0,5	0,2
Cable11	0,439	0,293	0,7	0,2
Cable12	0,386	0,263	2,3	1,8
Cable13	0,332	0,231	0,6	0,8
Cable14	0,229	0,077	0,3	0,2
Cable15	0,178	0,068	0,2	0,1

CKT / Branch	From-To Bus Flow		Losses	
	ID	MW	MVAr	KW
Cable16	0,127	0,051	0,2	0,2
Cable17	0,076	0,034	0,0	0,0
Cable19	0,267	0,119	0,8	0,7
Cable20	0,177	0,079	0,1	0,1
Cable21	0,089	0,039	0,0	0,1
Cable23	0,801	0,383	4,6	3,6
Cable24	0,398	0,190	1,1	0,9
Cable26	0,768	0,819	2,5	1,3
Cable27	0,711	0,795	8,3	7,3
Cable28	0,650	0,770	5,7	5,0
Cable29	0,539	0,704	2,9	1,5
Cable30	0,363	0,182	1,2	1,1
Cable31	0,232	0,121	0,2	0,2
Cable32	0,052	0,034	0,0	0,0
Total losses			164,7	111,2

Dari tabel 4.2 diatas, total rugi-rugi daya pada sistem IEEE 33 bus berjumlah 164,7 KW. Saluran yang memiliki rugi-rugi daya yang besar yaitu pada cable 2 sebesar 42.4 KW.

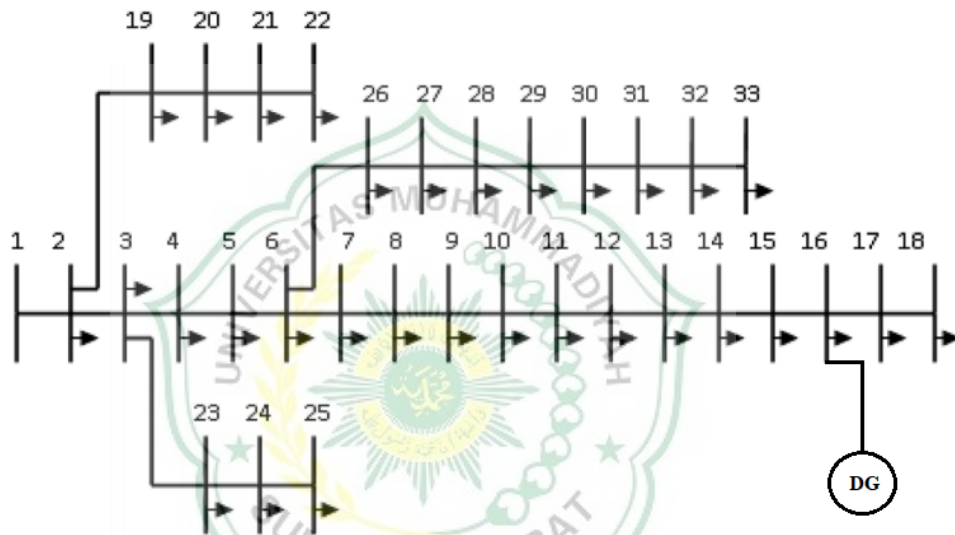
4.2 Analisa Load Flow Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Pembangkit *Distributed Generation*

Berdasarkan pengolahan data aliran daya pada sistem distribusi IEEE 33 bus terjadi jatuh tegangan tidak stabil dan rugi-rugi daya yang tinggi, dalam hal ini perlu diperbaiki dengan menggunakan pembangkit tersebar salah satunya menggunakan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro), pemasangannya dilakukan pada bus-bus berikut ini:

- a. Pemasangan *Distributed Generation* pada Bus 16, merupakan bus yang memiliki jatuh tegangan pertama kali di atas 5%
- b. Pemasangan *Distributed Generation* Bus 27 , merupakan bus yang mengalami jatuh tegangan paling besar yaitu 16%
- c. Pemasangan 2 *Distributed Generation* pada bus 16 dan bus 27

4.2.1 Simulasi Pemasangan Satu Distributed Generation pada Bus 16

Penentuan kapasitas dan letak DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dilakukan berdasarkan hasil penelitian.[1]



Gambar 4.2 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Pembangkit Distributed Generation pada bus 16

Tabel 4.3 Data drop tegangan setelah pemasangan DG pada bus 16 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi	
		%	
1	12,660	100,000	Normal
2	12,660	99,740	Normal
3	12,660	98,524	Normal
4	12,660	97,904	Normal

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi	
		%	
5	12,660	97,296	Normal
6	12,660	95,776	Normal
7	12,660	95,489	Normal
8	12,660	94,483	Under Voltage
9	12,660	94,044	Under Voltage
10	12,660	94,043	Under Voltage
11	12,660	93,989	Under Voltage
12	12,660	93,897	Under Voltage
13	12,660	93,518	Under Voltage
14	12,660	93,376	Under Voltage
15	12,660	93,344	Under Voltage
16	12,660	93,332	Under Voltage
17	12,660	93,159	Under Voltage
18	12,660	93,108	Under Voltage
19	12,660	99,688	Normal
20	12,660	99,335	Normal
21	12,660	99,266	Normal
22	12,660	99,203	Normal
23	12,660	98,184	Normal
24	12,660	97,554	Normal
25	12,660	97,241	Normal
26	12,660	95,609	Normal
27	12,660	95,388	Normal
28	12,660	94,405	Under Voltage
29	12,660	93,699	Under Voltage
30	12,660	93,394	Under Voltage
31	12,660	93,039	Under Voltage

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi	
		%	
32	12,660	92,960	Under Voltage
33	12,660	92,936	Under Voltage
G#4	6,300	95,961	Normal
Gen_2	12,660	93,332	Normal

Pada tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa nilai rata-rata jatuh tegangan setelah pemasangan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) pada bus 16 ini tetap mengalami jatuh tegangan sebanyak 17 bus

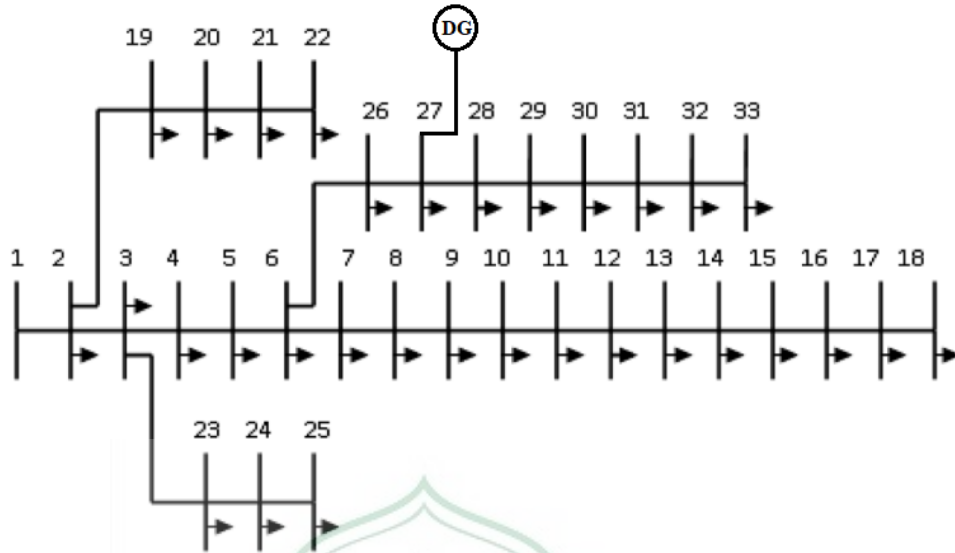
Tabel 4.4 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 16 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

CKT / Branch	From-To Bus Flow		Losses		
	ID	MW	MVAr	KW	KVAr
Cable1		3,408	2,189	9,4	4,8
Cable2		2,942	1,966	38,7	19,7
Cable18		0,357	0,159	0,2	0,1
Cable3		1,924	1,473	13,8	7,0
Cable22		0,892	0,434	2,9	2,0
Cable4		1,795	1,390	12,8	6,5
Cable5		1,725	1,355	26,0	22,4
Cable6		0,815	0,467	1,1	3,7
Cable25		0,829	0,847	1,9	1,0
Cable7		0,631	0,372	6,3	4,5
Cable8		0,446	0,278	2,0	1,4
Cable9		0,391	0,258	0,0	0,0
Cable10		0,338	0,241	0,2	0,1
Cable11		0,298	0,214	0,4	0,1

CKT / Branch	From-To Bus Flow		Losses	
	MW	MVAr	KW	KVAr
Cable12	0,245	0,183	1,0	0,8
Cable13	0,191	0,152	0,2	0,3
Cable14	0,087	-0,005	0,0	0,0
Cable15	0,034	-0,014	0,0	0,0
Cable16	0,130	0,052	0,2	0,2
Cable17	0,078	0,035	0,0	0,0
Cable19	0,267	0,119	0,8	0,7
Cable20	0,177	0,079	0,1	0,1
Cable21	0,089	0,039	0,0	0,1
Cable23	0,802	0,384	4,6	3,6
Cable24	0,398	0,190	1,1	0,9
Cable26	0,772	0,823	2,5	1,3
Cable27	0,715	0,799	8,4	7,4
Cable28	0,654	0,774	5,8	5,0
Cable29	0,542	0,708	2,9	1,5
Cable30	0,365	0,183	1,2	1,1
Cable31	0,234	0,121	0,2	0,2
Cable32	0,052	0,035	0,0	0,0
T2	0,150	0,090	1,8	6,4
Total Losses			146,4	103,1

Dari tabel 4.4 diatas nilai rugi-rugi daya sebelum pemasangan PLTMH sebesar 164.7 kW, setelah dilakukan pemasangan pembangkit tersebar PLTMH pada bus 16 rugi-rugi daya yang ada pada sistem IEEE 33 bus ini berkurang sebesar 18,3 kW sehingga total rugi-rugi daya menjadi 146,4 kW. Rugi-rugi daya terbesar terdapat pada cable 2 yang sebelumnya memiliki rugi-rugi daya terbesar pada sebelum pemasangan PLTMH.

4.2.2 Simulasi Load Flow Pemasangan Satu Distributed Generation Pada Bus 27



Gambar 4.3 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Pembangkit Distributed Generation pada Bus 27

Tabel 4.5 Data drop tegangan setelah pemasangan DG pada bus 27 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal kV	Hasil Simulasi %	
	1	12,660	
2	12,660	99,898	Normal
3	12,660	99,531	Normal
4	12,660	99,544	Normal
5	12,660	99,596	Normal
6	12,660	99,722	Normal
7	12,660	99,369	Normal
8	12,660	98,082	Normal
9	12,660	97,480	Normal
10	12,660	97,479	Normal
11	12,660	97,399	Normal

12	12,660	97,259	Normal
13	12,660	96,651	Normal
14	12,660	96,408	Normal
15	12,660	96,284	Normal
16	12,660	96,164	Normal
17	12,660	95,987	Normal
18	12,660	95,934	Normal
19	12,660	99,846	Normal
20	12,660	99,493	Normal
21	12,660	99,424	Normal
22	12,660	99,361	Normal
23	12,660	99,188	Normal
24	12,660	98,551	Normal
25	12,660	98,235	Normal
26	12,660	99,939	Normal
27	12,660	100,255	Normal
28	12,660	99,221	Normal
29	12,660	98,480	Normal
30	12,660	98,159	Normal
31	12,660	97,785	Normal
32	12,660	97,703	Normal
33	12,660	97,678	Normal
G#1	6,300	102,375	Normal
G#2	6,300	102,375	Normal
G#3	6,300	102,375	Normal
Gen_1	12,66	100,255	Normal

Pada tabel 4.5 diatas, setelah pemasangan satu *distributed generation* pada bus 27, berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa tidak ada bus yang mengalami undervoltage dan perbaikan tegangan sudah optimal

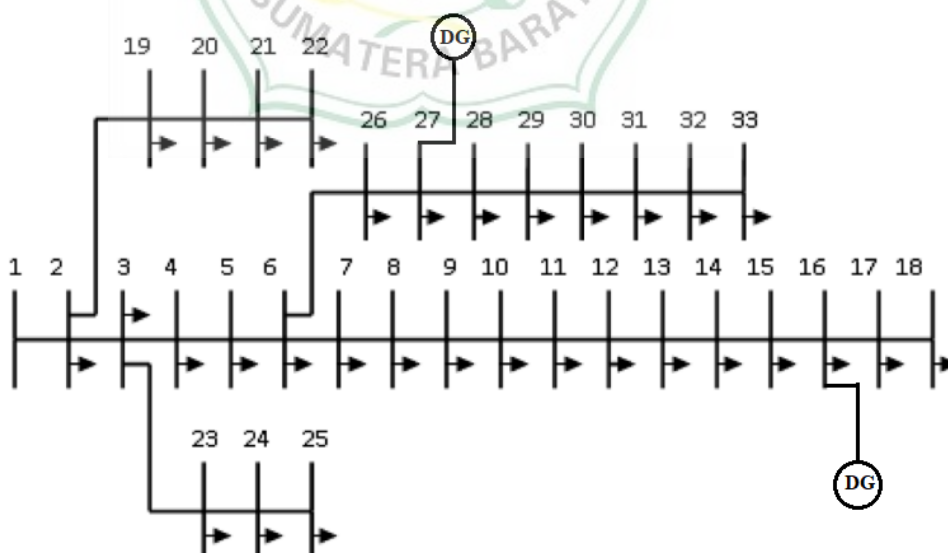
Tabel 4.6 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 27 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

CKT / Branch	From-To Bus Flow		Losses	
	ID	MW	Mvar	kW
Cable1	1,283	0,945	1,5	0,7
Cable2	0,824	0,725	3,7	1,9
Cable18	0,358	0,160	0,2	0,2
Cable3	-0,179	0,241	0,2	0,1
Cable22	0,910	0,443	2,9	2,0
Cable4	-0,298	0,161	0,3	0,1
Cable5	-0,358	0,131	0,7	0,6
Cable6	1,042	0,597	1,7	5,6
Cable25	-1,460	-0,486	3,0	1,5
Cable7	0,842	0,493	10,3	7,4
Cable8	0,639	0,389	3,7	2,7
Cable9	0,578	0,367	0,0	0,0
Cable10	0,521	0,348	0,5	0,2
Cable11	0,478	0,320	0,8	0,3
Cable12	0,421	0,286	2,5	2,0
Cable13	0,362	0,252	0,7	0,9
Cable14	0,250	0,084	0,3	0,2
Cable15	0,194	0,074	0,2	0,2
Cable16	0,138	0,056	0,2	0,3
Cable17	0,083	0,037	0,0	0,0
Cable19	0,268	0,120	0,8	0,7
Cable20	0,178	0,079	0,1	0,1
Cable21	0,089	0,040	0,0	0,1
Cable23	0,819	0,392	4,7	3,7
Cable24	0,406	0,194	1,2	0,9

Cable26	-1,523	-0,513	4,6	2,3
Cable27	0,790	0,883	9,2	8,1
Cable28	0,722	0,855	6,4	5,6
Cable29	0,599	0,782	3,2	1,6
Cable30	0,403	0,202	1,3	1,3
Cable31	0,258	0,134	0,2	0,2
Cable32	0,057	0,038	0,0	0,0
GT#1	0,800	0,500	7,3	25,5
GT#2	0,800	0,500	7,3	25,5
GT#3	0,800	0,500	7,3	25,5
Total Losses			87,0	128,2

Dari tabel 4.6 diatas, setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 27 rugi-rugi daya yang ada pada sistem IEEE 33 bus ini berkurang 77,7 KW yang awalnya sebelum pemasangan DG sebesar 164,7 kW, sehingga menjadi 87,0 KW. Rugi-rugi daya terbesar terdapat pada cable 7 sebesar 10,3 KW.

4.2.3 Simulasi Pemasangan Dua Pembangkit Distributed Generation



Gambar 4.4 Single line diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Pembangkit Distributed Generation pada bus 16 dan 27

Tabel 4.7 Data drop tegangan setelah pemasangan DG pada bus 16 dan 27 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Bus	Tegangan		Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi	
		%	
1	12,66	100,000	Normal
2	12,66	99,908	Normal
3	12,66	99,595	Normal
4	12,66	99,648	Normal
5	12,66	99,741	Normal
6	12,66	99,970	Normal
7	12,66	99,666	Normal
8	12,66	98,597	Normal
9	12,66	98,127	Normal
10	12,66	98,127	Normal
11	12,66	98,068	Normal
12	12,66	97,969	Normal
13	12,66	97,556	Normal
14	12,66	97,401	Normal
15	12,66	97,360	Normal
16	12,66	97,339	Normal
17	12,66	97,159	Normal
18	12,66	97,105	Normal
19	12,66	99,856	Normal
20	12,66	99,503	Normal
21	12,66	99,434	Normal
22	12,66	99,371	Normal
23	12,66	99,251	Normal
24	12,66	98,614	Normal
25	12,66	98,297	Normal

26	12,66	100,186	Normal
27	12,66	100,501	Normal
28	12,66	99,464	Normal
29	12,66	98,721	Normal
30	12,66	98,399	Normal
31	12,66	98,025	Normal
32	12,66	97,942	Normal
33	12,66	97,917	Normal
G#1	6,3	102,616	Normal
G#2	6,3	102,616	Normal
G#3	6,3	102,616	Normal
G#4	6,3	99,867	Normal
Gen_1	12,66	100,501	Normal
Gen_2	12,66	97,339	Normal

Pada tabel 4.7 diatas, setelah pemasangan *distributed generation* pada bus 16 dan bus 27, berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan dapat dilihat perbaikan tegangan sudah optimal dan kondisi bus normal.

Tabel 4.8 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 16 dan 27 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

CKT / Branch	From -To Bus Flow		Rugi-Rugi Daya	
	MW	Mvar	kW	kvar
Cable1	1,148	0,868	1,2	0,6
Cable2	0,689	0,648	2,8	1,4
Cable18	0,358	0,160	0,2	0,2
Cable3	-0,314	0,164	0,3	0,1
Cable22	0,911	0,443	2,9	2,0
Cable4	-0,433	0,084	0,5	0,2

Cable5	-0,494	0,054	1,3	1,1
Cable6	0,901	0,515	1,3	4,2
Cable25	-1,456	-0,482	3,0	1,5
Cable7	0,701	0,412	7,1	5,1
Cable8	0,499	0,309	2,3	1,6
Cable9	0,439	0,288	0,0	0,0
Cable10	0,381	0,269	0,3	0,1
Cable11	0,337	0,240	0,4	0,1
Cable12	0,279	0,206	1,2	0,9
Cable13	0,221	0,172	0,3	0,4
Cable14	0,107	0,001	0,0	0,0
Cable15	0,050	-0,008	0,0	0,0
Cable16	0,142	0,057	0,2	0,3
Cable17	0,085	0,038	0,0	0,0
Cable19	0,268	0,120	0,8	0,7
Cable20	0,178	0,079	0,1	0,1
Cable21	0,089	0,040	0,0	0,1
Cable23	0,820	0,392	4,7	3,7
Cable24	0,407	0,194	1,2	0,9
Cable26	-1,519	-0,509	4,5	2,3
Cable27	0,794	0,887	9,3	8,2
Cable28	0,725	0,859	6,4	5,6
Cable29	0,602	0,786	3,2	1,6
Cable30	0,405	0,203	1,3	1,3
Cable31	0,260	0,135	0,2	0,2
Cable32	0,058	0,038	0,0	0,0
GT#1	0,800	0,500	7,3	25,4
GT#2	0,800	0,500	7,3	25,4
GT#3	0,800	0,500	7,3	25,4
T2	0,150	0,090	1,7	5,9
total losses			80,2	126,7

Dari tabel 4.8 diatas, setelah pemasangan pembangkit tersebar pada bus 16 dan bus 27 rugi-rugi daya yang ada pada sistem IEEE 33 bus ini berkurang 84,5 KW yang awalnya sebelum pemasangan DG sebesar 164,7 KW, sehingga menjadi 80,2 kW. Rugi-rugi daya terbesar terdapat pada cable 27 sebesar 9,3 KW

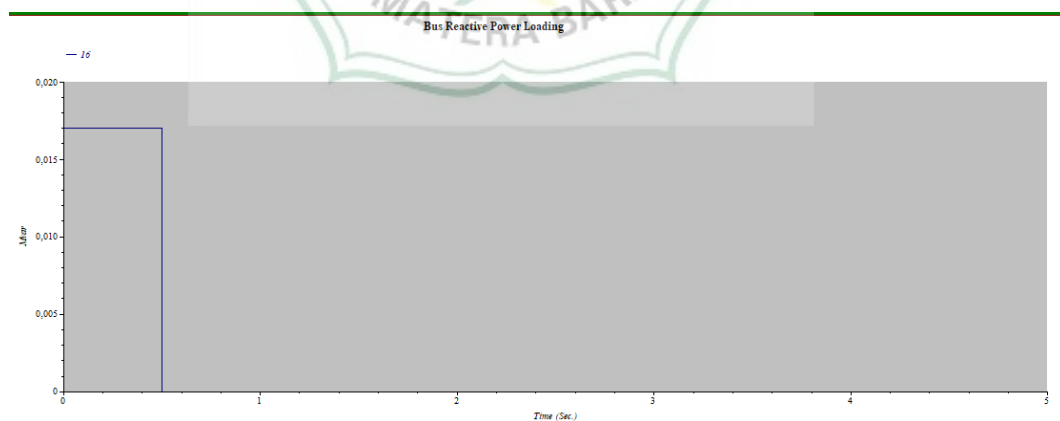
4.3 Analisa Stabilitas Transien

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisa stabilitas transien dari setiap kondisi dan kemudian hasil running software etap 12.6.0 akan ditampilkan pada subbab ini berupa gambar respon respon tegangan dan respon frekuensi untuk memperjelas analisa stabilitas transien.

4.3.1 Stabilitas Transien Pemasangan Satu *Distributed Generation* Pada Bus 16

1. MVAR pada Bus 16

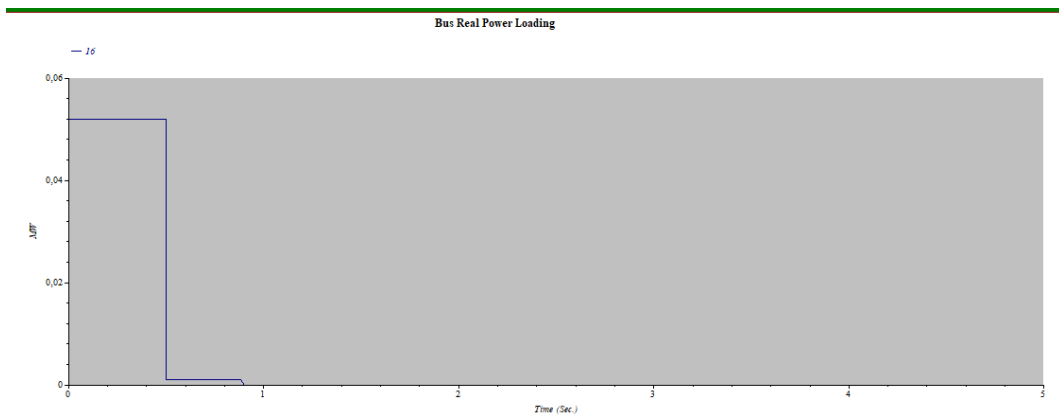
Pada Kondisi satu Hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 4.1.Menunjukkan nilai mw pada bus 16 yang mengalami gangguan sumber mati pada detik $t = 0,5$ sekon , terlihat bahwa nilai mvar pada gambar di bawah :



Gambar 4.5 Grafik MW pada bus 16

2. MW pada Bus 16

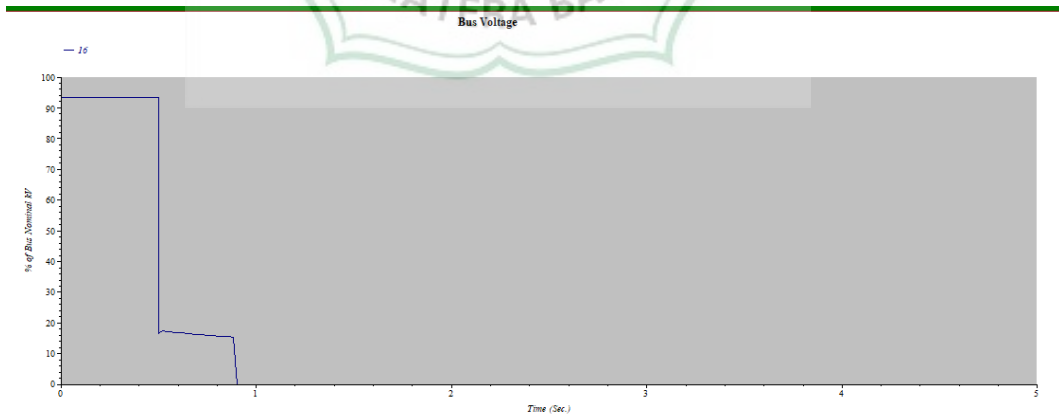
Pada Kondisi satu Hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 4.2. Menunjukkan nilai mw pada bus 16 yang mengalami gangguan sumber mati pada detik $t = 0,5$ sekon , terlihat bahwa nilai mw pada gambar di bawah :



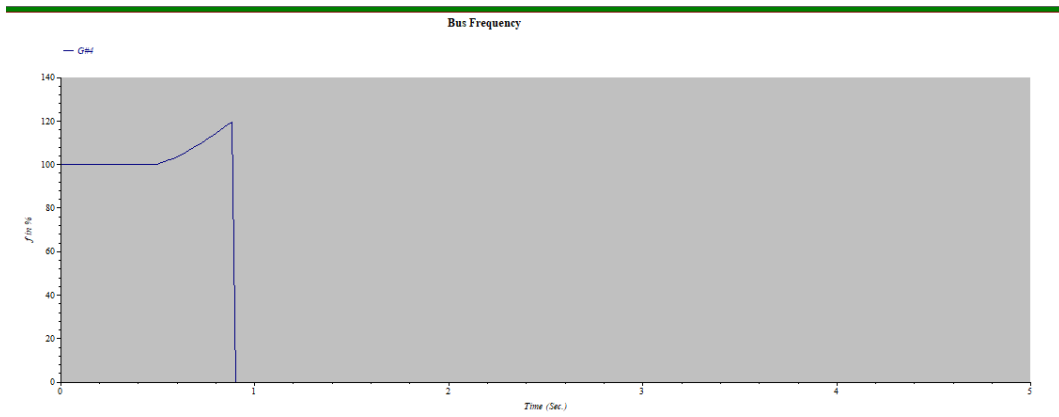
a. Frekuensi pada Bus 16



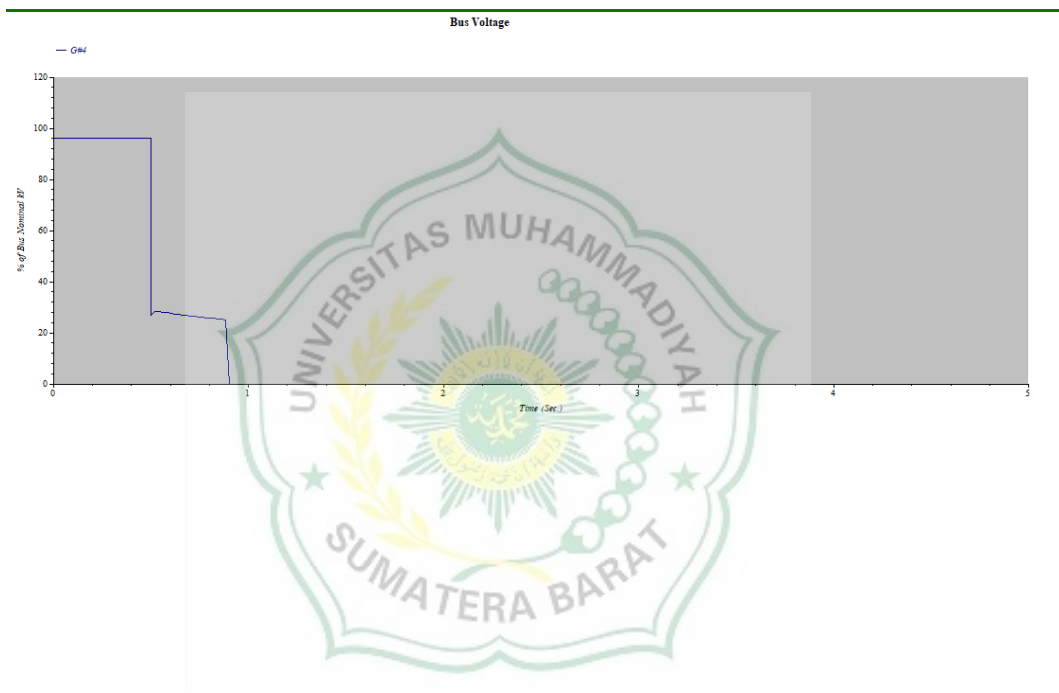
b. Tegangan pada Bus 16



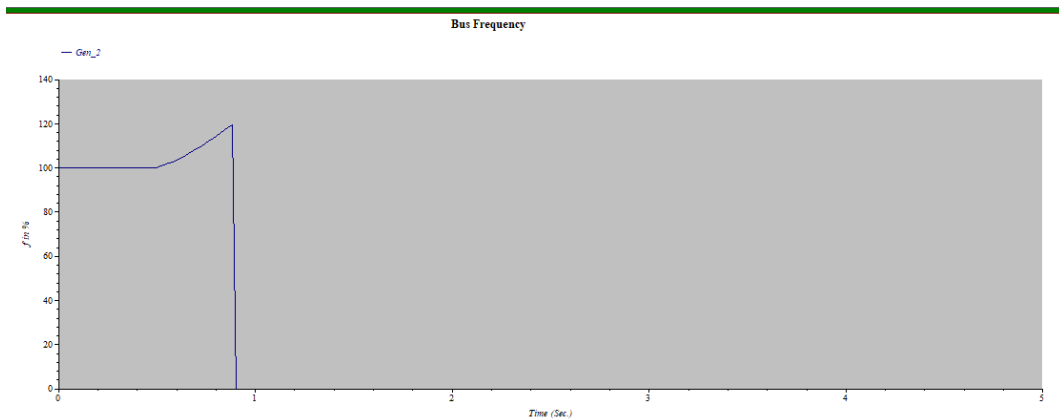
c. Frekuensi pada Gen#4



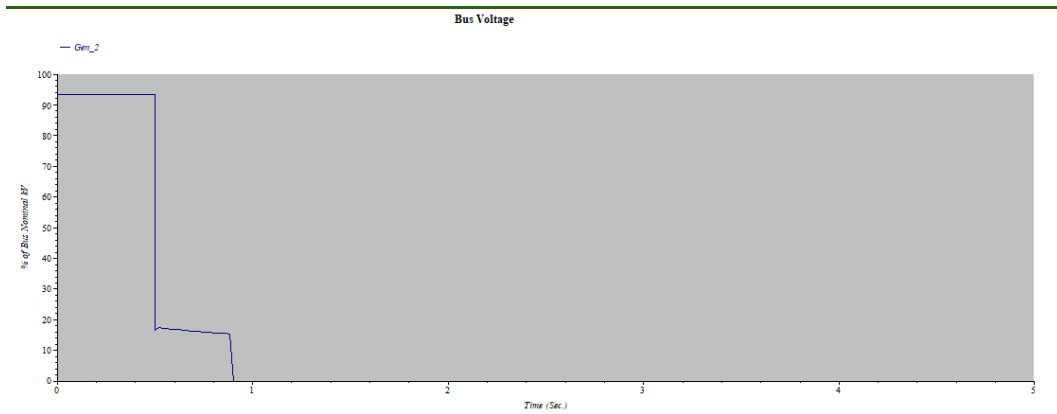
d. Tegangan pada Gen#4



e. Frekuensi pada Gen_2

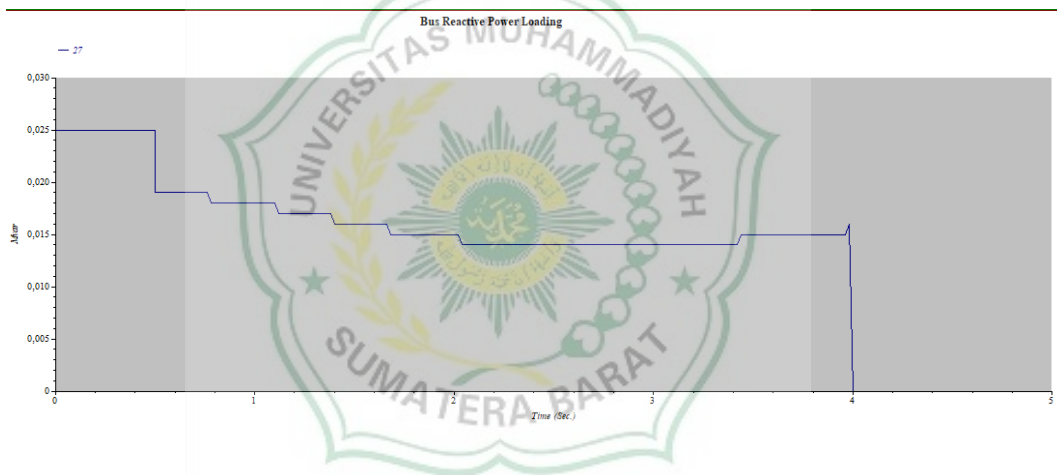


f. Tegangan pada Gen_2

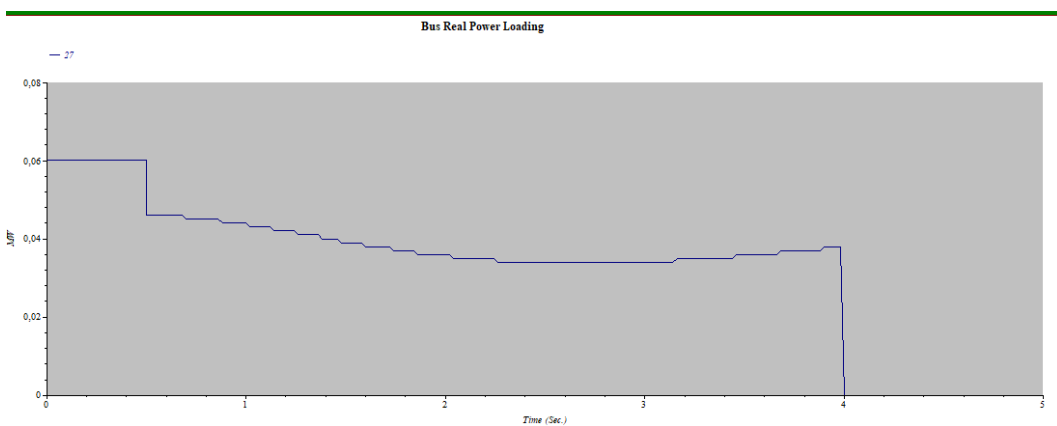


4.2.4 Stabilitas Transien Pemasangan Satu *Distributed Generation* Pada Bus 27

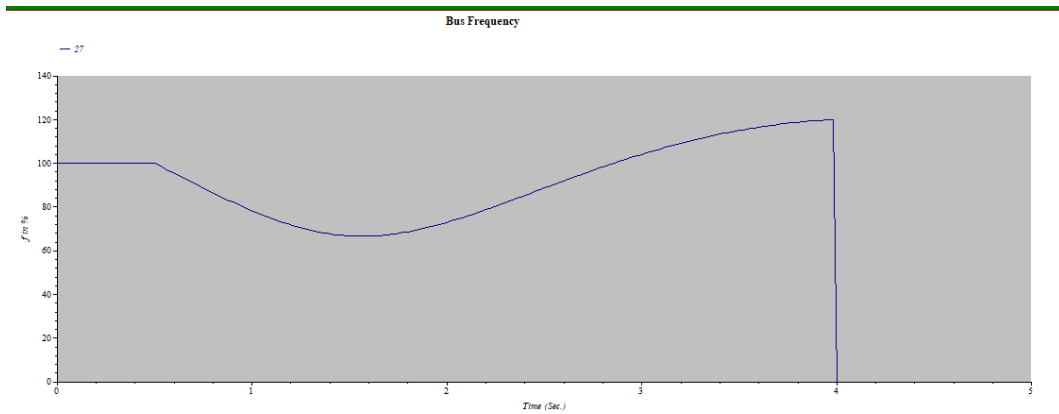
a. Mvar pada bus 27



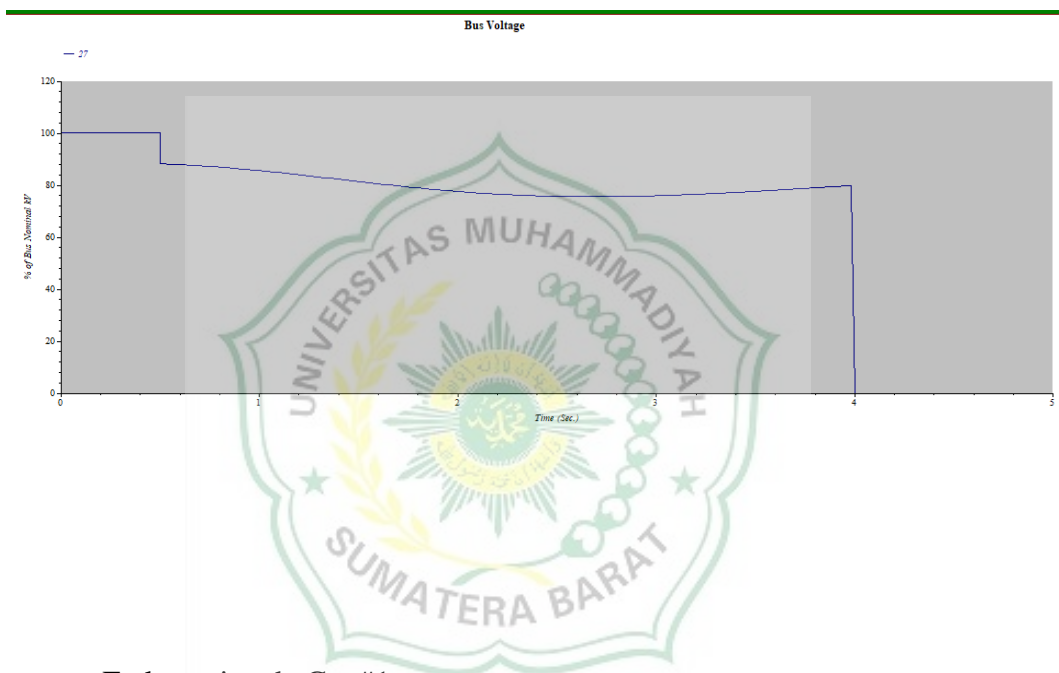
b. Mw pada bus 27



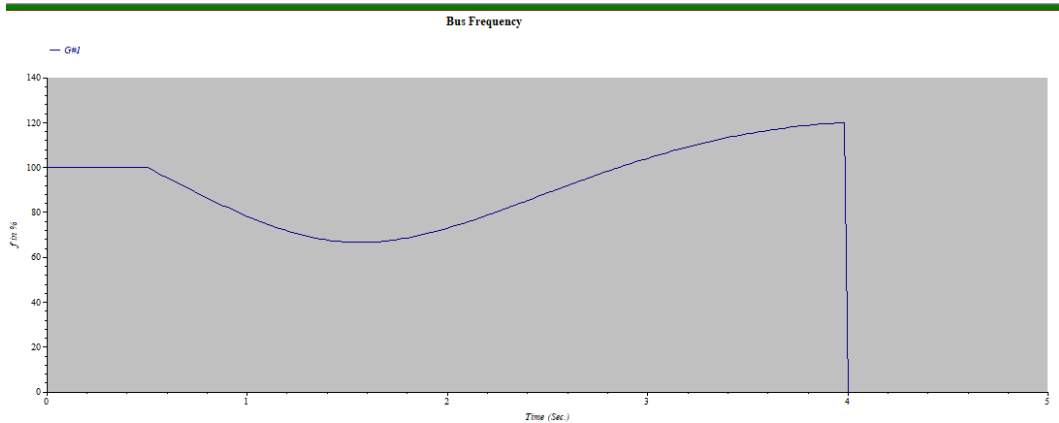
c. Frekuensi pada bus 27



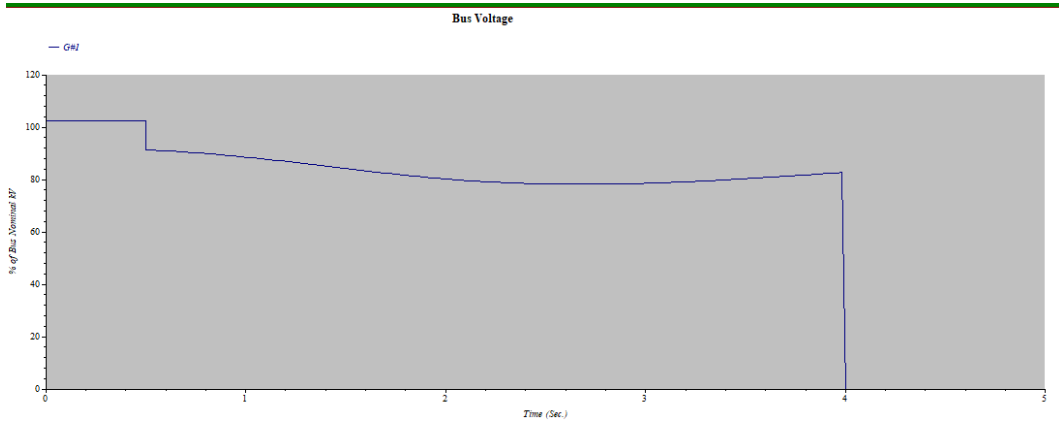
d. Tegangan pada bus 27



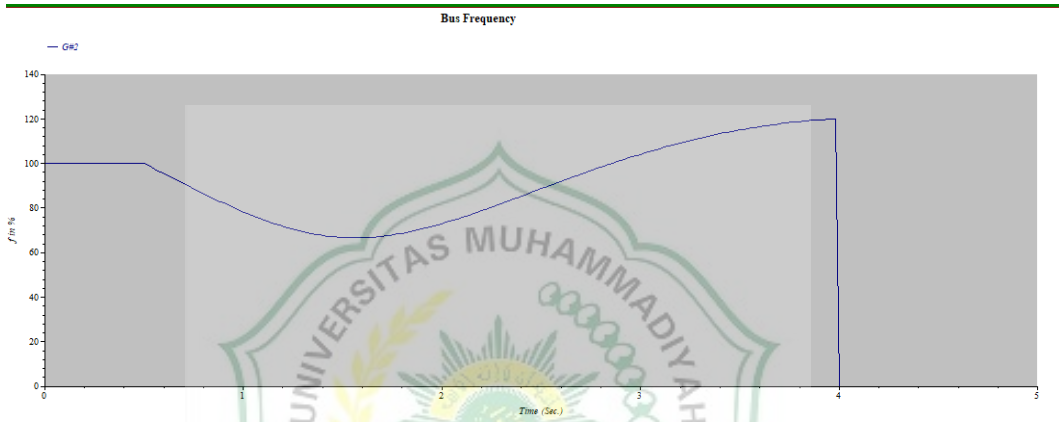
e. Frekuensi pada Gen#1



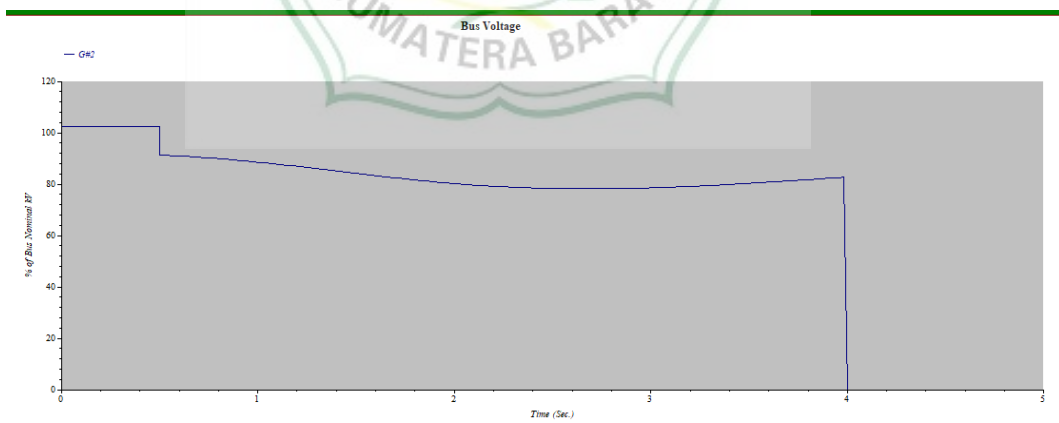
f. Tegangan pada Gen#1



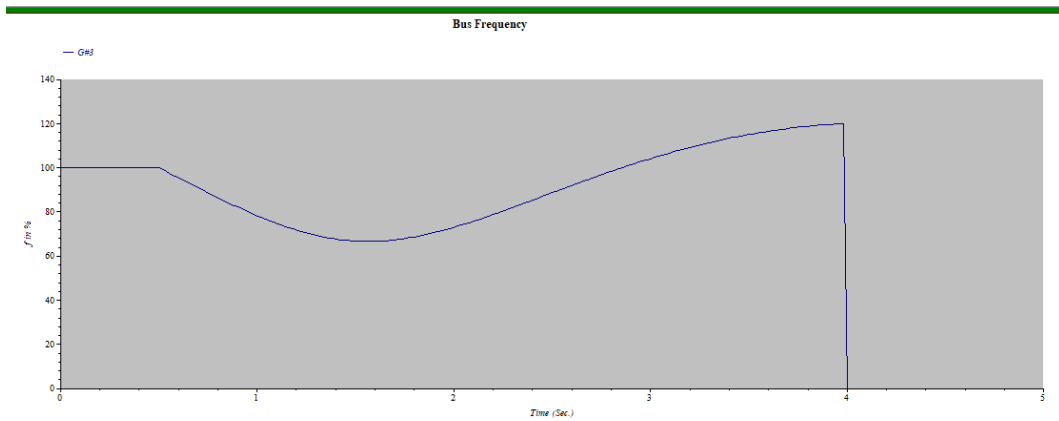
g. Frekuensi pada Gen#2



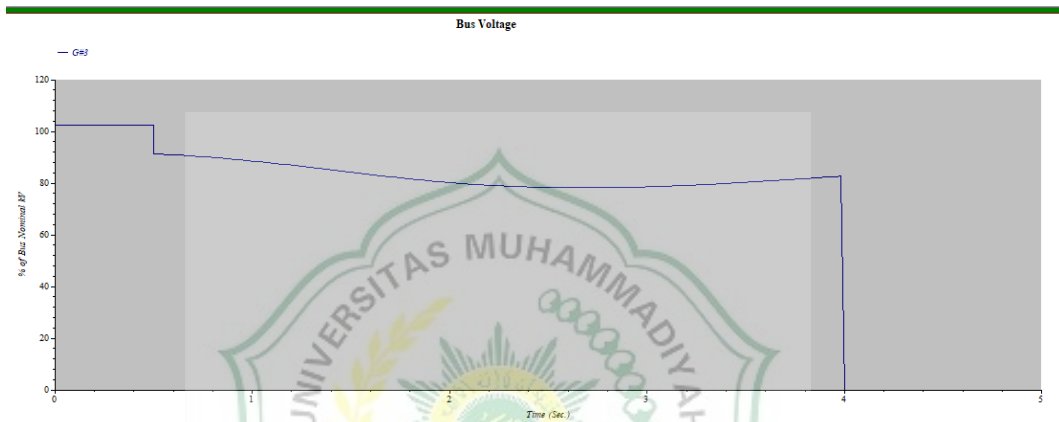
h. Tegangan pada Gen#2



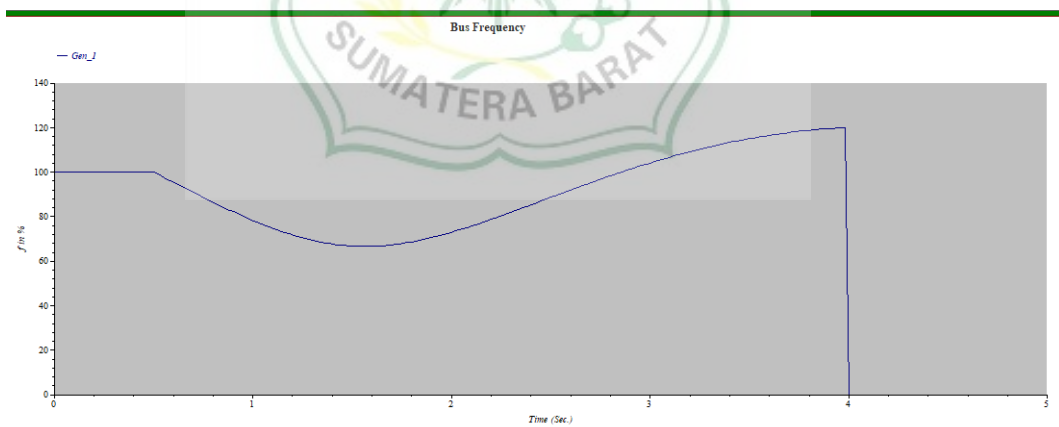
i. Frekuensi pada Gen#3



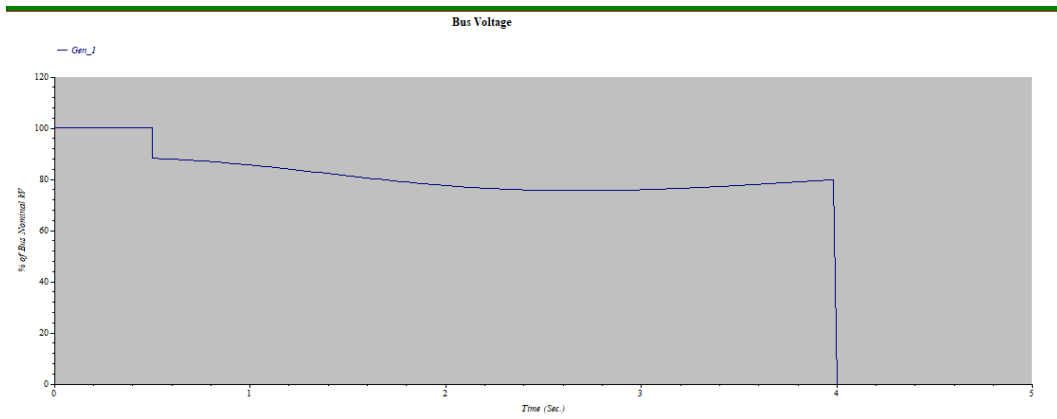
j. Tegangan pada Gen#3



k. Frekuensi pada gen_1

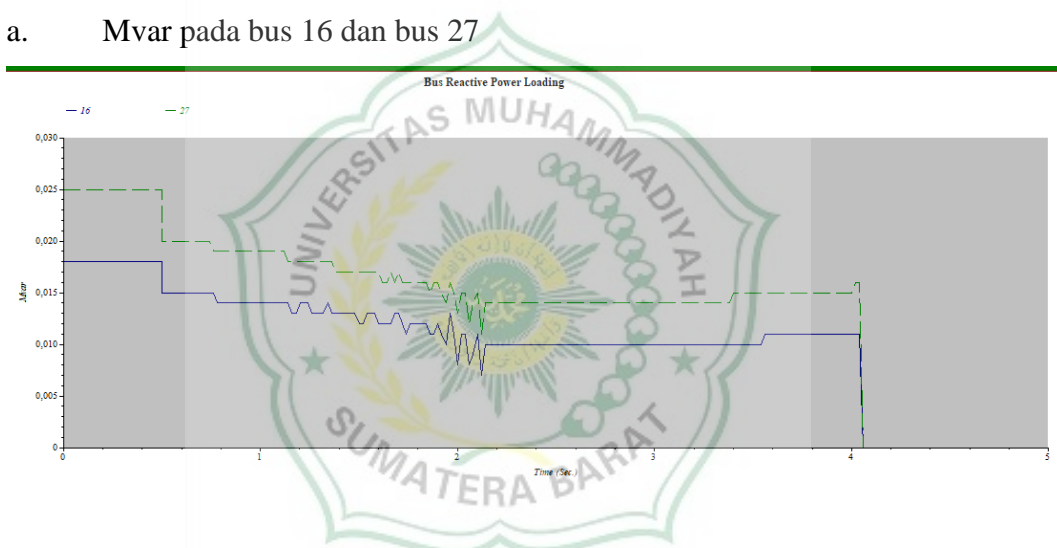


l. Tegangan pada gen_1

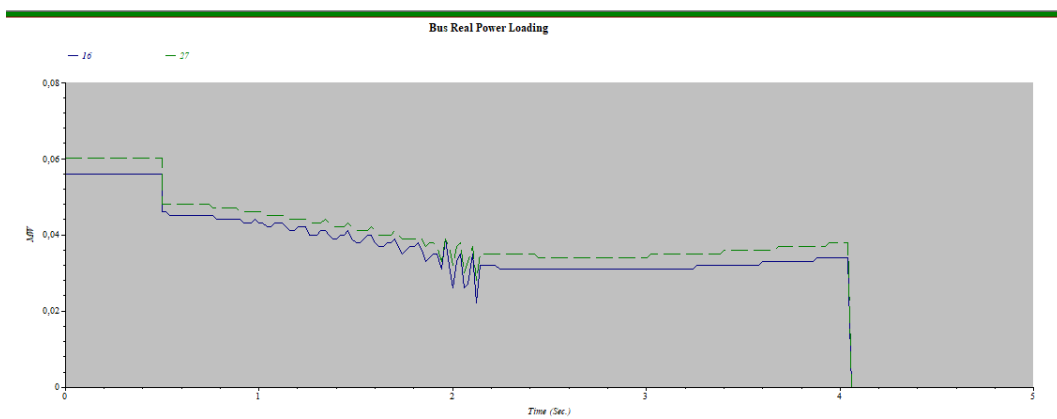


4.2.5 Stabilitas Transien Pemasangan Satu *Distributed Generation* Pada Bus 16 dan Bus 27

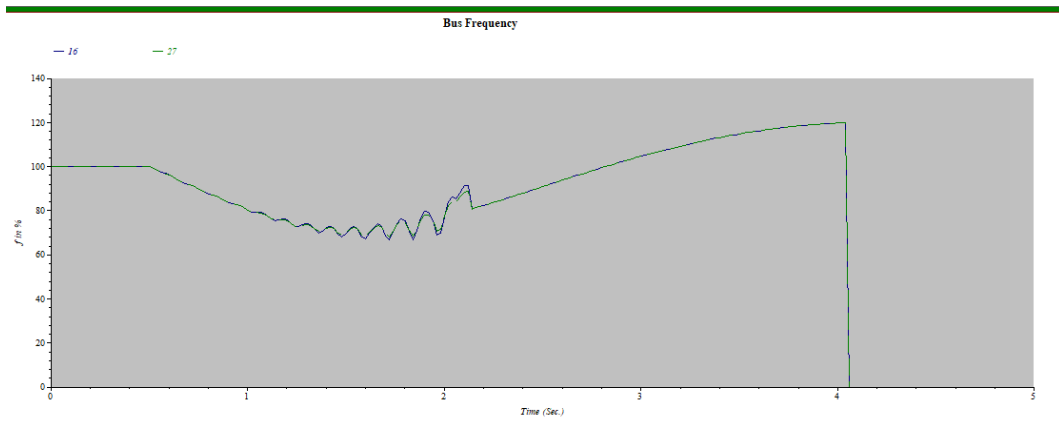
a. Mvar pada bus 16 dan bus 27



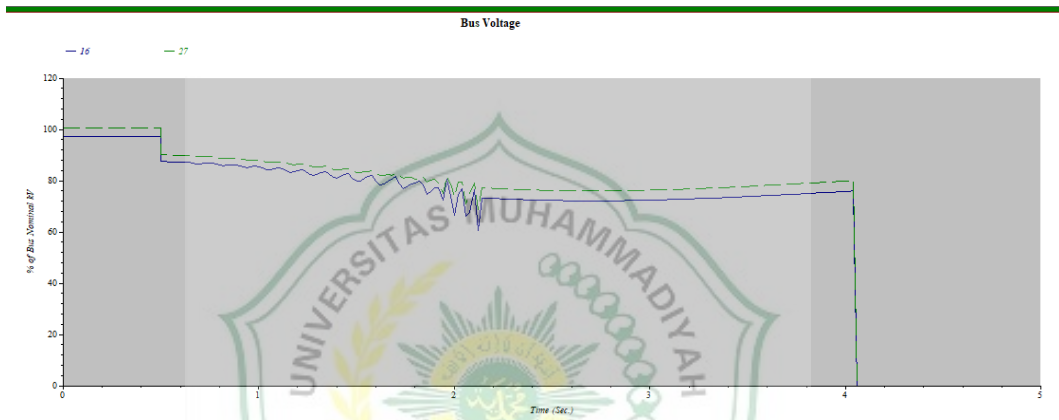
b. Mw pada bus 16 dan bus 27



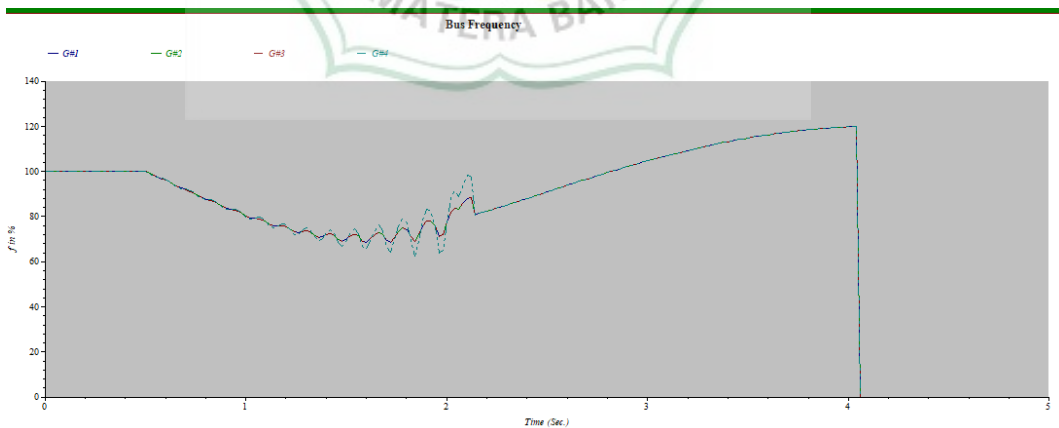
c. Frekuensi pada bus 16 dan bus 27



d. Tegangan pada bus 16 dan bus 27



e. Frekuensi pada gen#1 gen#2 gen#3 gen#4



BAB V

PENUTUP

a. Kesimpulan

Dari hasil simulasi percobaan yang dilakukan dalam proses analisa stabilitas transien pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus terhubung dengan PLTMH dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis stabilitas transien digunakan untuk melihat respon pada sistem ketika terjadi gangguan, menganalisa aliran daya listrik beserta cara mengatasinya untuk mewujudkan sistem yang stabil dilihat dari parameter frekuensi dan tegangan.
2. Setelah dilakukan pemasangan DG pada bus 16 ditunjukkan bahwa tetap mengalami jatuh tegangan sebanyak 17 bus dan 16 bus dalam keadaan normal. Total losses sebesar 146,4 KW.
3. Setelah dilakukan pemasangan DG pada bus 27 ditunjukkan bahwa tidak ada bus yang mengalami undervoltage dari tegangan normal dan total losses sebesar 87,0 KW.
4. Setelah dilakukan pemasangan DG pada bus 16 dan bus 27 ditunjukkan bahwa tidak ada bus yang mengalami undervoltage dari tegangan normal dan total losses sebesar 80,2 KW.

b. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya pada hasil simulasi dan analisis pada tugas akhir ini yaitu :

Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai analisa stabilitas transien pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus dengan menambahkan jenis-jenis Distributed Generation yang lain dan menambahkan parameter yang diamati.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hertalina, A. H. (2015). Optimasi Kapasitas Dan Peletakan Pembangkit Tersebar Berdasarkan Stabilitas Tegangan Menggunakan HPSO. *Laporan Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sepuluh November.
- [2] Ariyono. (2019). Analisa Teknologi Fotovoltaik Sebagai Distributed Generation (Dg) pada Sistem Distribusi Menggunakan Software Electric Transient And Analysis Program (ETAP). *Jurnal Energi Elektrik*, Vol.08 (01), hal.11-17.
- [3] J. Sridevi and V. U. Rani, "Integration of Renewable DGs to Radial Distribution System for Loss Reduction and Voltage Profile Improvement," 2019.
- [4] Prima , P., Ontoseno, P., & Ni Ketut , A. (2016). Studi Analisa Stabilitas Transien Sistem Jawa-Madura-Bali (Jamali) 500kV Setelah Masuknya Pembangkit Paiton 1000 MW Pada Tahun 2021. *Jurnal Teknik Its*, Vol.5 (02), hal.1-7.
- [5] Khoiriatas, A. (2017) Analisa Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Akibat Penambahan Pembangkit Pada Sistem Kelistrikan New Island Tursina Pt. Pupuk Kalimantan Timur. *Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sepuluh November.
- [6] Prasetya, A. A. (2015) Analisa Kestabilan Transien Pada Jaringan Distribusi IEEE 34 Bus Dengan Adanya Pembangkitan Terdistribusi. *Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sepuluh November.
- [7] H, A. Z., Anam, S., & Robandi, I. (2012). Penempatan Dan Penentuan Kapasitas Optimal (Distributed Generator) Menggunakan Artificial Bee Colony (ABC). *JURNAL TEKNIK ITS*.
- [8] Hidayat, S., Priyadi, A., & Pujiantara, M. (2013). Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pertamina (Persero)

Refinery Unit (R.U.) VI Balongan Jawa Barat. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 1-6.

- [9] Muttaqin, F. (2017). ANALISA STABILITAS TRANSIEN AKIBAT HUBUNG SINGKAT TIGA FASA PADA SISTEM MICRO-GRID DENGAN MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATIONS. In *TUGAS AKHIR* (p. 10). Surabaya
- [10] Supriyadi, A. (n.d.). ANALISA ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6. *FORUM TEKNOLOGI*, 1-2.

