

SKRIPSI

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN PADA JARINGAN DISTRIBUSI
RADIAL IEEE 33 BUS TERHUBUNG DENGAN ENERGI TERBARUKAN
(PHOTOVOLTAIC)**

*“Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro”*



Oleh

RIO WAHYUDI
18.10.002.20201.021

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT

2022

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA STABILITAS TRANSIEN PADA JARINGAN DISTRIBUSI
IEEE 33 BUS TERHUBUNG DENGAN ENERGI TERBARUKAN
(PHOTOVOLTAIC)

Oleh

RIO WAHYUDI

18.10.002.20201.021

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,



Masril, 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, 2 Maret 2022
Mahasiswa,

Rio Wahyudi
181000220201021

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal :

1. Mahyessie Kamil, S.T., M.T.

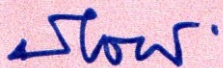
1. 

2. Ir. Budi Santosa, M.T.

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 : Rio Wahyudi

Tempat dan tanggal Lahir : Sako, 29 Juni 1999

NIM : 181000220201021

Judul Skripsi : Analisa Stabilitas Transien pada Jaringan Distribusi

IEEE 33 Bus Terhubung dengan Energi Terbarukan
(Photovoltaic)


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, 2 Maret 2022
Yang membuat pernyataan,




Rio Wahyudi
181000220201021

ABSTRAK

Energi listrik merupakan energi sekunder yang banyak digunakan di berbagai sektor, baik digunakan untuk keperluan rumah tangga maupun keperluan industri. 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 Photovoltaic sebagai distributed generation (DG) atau pembangkit terdistribusi yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utama. Dengan adanya DG yang ditempatkan pada ujung beban yang mempunyai kapasitas kecil dapat membantu mengatasi masalah suplai energi listrik. Penggunaan atau penambahan DG dalam sistem disdribusi tentunya memiliki dampak terhadap sistem. Dilihat dari respon frekuensi, tegangan, dan aliran daya penambahan DG dalam sistem memiliki berbagai macam dampak. Dampak yang ada bergantung pada peletakan DG pada sistem, jumlah beban yang ada, rating DG yang digunakan, dan jenis pembangkit yang digunakan. Tugas akhir ini berfokus pada analisa kestabilan transien pada sistem pada jaringan distribusi radial IEEE 33 Bus terhubung dengan enegi terbaruan (*Photovoltaic*).

Kata Kunci : Stabilitas Transien, *Distributed Generation*, Aliran daya

ABSTRACT

Electrical energy is secondary energy that is widely used in various sectors, both for household and industrial purposes. To meet electricity needs in this rapidly growing economic era, it requires a lot of electrical energy. Therefore, the quality of electrical energy needs to be improved. The location of the generator that is far from the load also causes high voltage drop values on several buses, besides that it also causes large system power losses. The method that can be used in this research is to install Photovoltaic technology as distributed generation (DG). has a smaller power capacity than the main generator. With the DG placed at the end of the load that has a small capacity, it can help overcome the problem of electrical energy supply. The use or addition of DG in the distribution system certainly has an impact on the system. Judging from the frequency response, voltage, and power flow, the addition of DG in the system has various impacts. The impact depends on the placement of DG on the system, the amount of load present, the DG rating used, and the type of generator used. This final project focuses on analyzing the transient stability of the system on the IEEE 33 Bus radial distribution network connected to renewable energy (Photovoltaic).

Keywords: *Transient Stability, Distributed Generation, Load Flow*

KATAPENGANTAR

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. Rekan-rekan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian Penalaran dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
9. 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, 2 Maret 2022

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
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	Aplikasi Etap	21
2.9	Kestabilan Tegangan	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi Penelitian	24
3.2	Data Penelitian.....	24
3.2.1	Jenis penelitian.....	24
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	32
4.2	Simulasi dan Analisa Load Flow Setelah Pemasangan DG	35
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	51

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Halaman
Tabel 3.1. Data Impedansi Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus	27
Tabel 3.2. Data beban Jaringan distribusi IEEE 33 Bus	29
Tabel 4.1. Data drop tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	33
Tabel 4.2. Data rugi-rugi daya pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.....	34
Tabel 4.3. Data drop tegangan setelah pemasangan DG pada bus 16.....	36
Tabel 4.4. Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 16.....	38
Tabel 4.5. Data drop tegangan setelah pemasangan DG pada bus 27.....	40
Tabel 4.6. Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 27.....	41
Tabel 4.7. Data drop tegangan setelah pemasangan DG pada bus 16 dan 27	43
Tabel 4.8. Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 16 dan 27	44



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Sistem distribusi radial	8
Gambar 2.2. Sistem distribusi loop	9
Gambar 2.3. Sistem distribusi spindel.....	10
Gambar 2.4. Skema PV-DG	12
Gambar 2.5. Modul photovoltaic	13
Gambar 2.6. Jaring distribusi radial IEEE 33 bus	17
Gambar 2.7. Tipikal bus dari sistem tenaga	19
Gambar 2.8. Rangkaian dan bentuk gelombang arus rangkaian R-L.....	21
Gambar 2.9. Tampilan worksheet software ETAP 12.6.0.....	22
Gambar 3.1. Single Line Jaringan Distribusi Radial IEEE 33 Bus.....	26
Gambar 3.2. Flowchart penelitian	31
Gambar 4.1. One line diagram IEEE 33 bus tanpa DG.....	32
Gambar 4.2. One line diagram IEEE 33 bus Pemasangan DG pada bus 16 .	36
Gambar 4.3. One line diagram IEEE 33 bus Pemasangan DG pada bus 27 ...	39
Gambar 4.4. One line diagram IEEE 33 bus Pemasangan Dua DG.....	42
Gambar 4.5. Grafik tegangan pada Bus 16	46
Gambar 4.6. Grafik MW pada Bus 16.....	47
Gambar 4.7. Grafik MVAr pada Bus 16	48
Gambar 4.8. Grafik Frekuensi pada Bus 16	48
Gambar 4.9. Grafik tegangan pada Bus 27	49
Gambar 4.10. Grafik MW pada Bus 27.....	50
Gambar 4.11. Grafik MVAr pada Bus 27	50
Gambar 4.12. Grafik frekuensi pada Bus 27	51
Gambar 4.13. Grafik tegangan pada Bus 16 dan 27.....	52
Gambar 4.14. Grafik MW pada Bus 16 dan 27.....	52
Gambar 4.15. Grafik MVAr pada Bus 16 dan 27	53
Gambar 4.16. Grafik frekuensi pada Bus 16 dan 27	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi sekunder yang banyak digunakan di semua lapisan masyarakat. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk suatu daerah, maka kebutuhan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik domestik maupun kebutuhan energi listrik teknis dan industri semakin meningkat. Untuk menghasilkan listrik dalam jumlah yang sangat besar dengan cakupan wilayah yang sangat luas, sistem pembangkitan terdistribusi atau dikenal juga dengan istilah *distributed generation* (DG) berperan penting dalam memenuhi kebutuhan beban, meningkatkan keandalan, dan mengurangi rugi-rugi.

Distributed Generation (DG) atau dikenal juga dengan pembangkit listrik terdistribusi merupakan suatu teknologi baru dalam dunia kelistrikan. *Distributed Generation* merupakan pembangkitan tenaga listrik yang berada dekat dengan konsumen pemakai listrik dengan kapasitas pembangkitan yang kecil serta menggunakan sumber energi terbarukan. Dalam hal ini pembangkit terdistribusi yang dimaksud adalah yang bersumber dari cahaya matahari (*photovoltaic*).

Pembangkit sel surya atau lebih dikenal dengan *photovoltaic* (PV) merupakan suatu sistem yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Energi matahari dapat menghasilkan daya hingga 156.486 MW, jumlah yang lebih besar jika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan yang lainnya. Indonesia adalah negara katulistiwa yang sepanjang tahun mendapat cahaya matahari dengan intensitas radiasi rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per harinya.

Pada sisi lain, pemerintah melalui kebijakan energi nasional yang dituangkan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) memiliki target pemanfaatan *Distributed Energy Resources* (DER) dengan sumber energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, 30% pada tahun 2030 dan mencapai 4

31% pada tahun 2050 dari total pemenuhan seluruh pemanfaatan energi secara nasional. Pemanfaatan energi terbarukan untuk pemenuhan rasio elektrifikasi secara Nasional dengan mendorong pengguna pembangkit *photovoltaic*, *wind turbine*, biogas, bionergi dan lain-lain diintegrasikan pada sistem distribusi tenaga listrik yang dimiliki oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Dengan adanya penambahan pembangkit DG dalam menyediakan sumber energi listrik yang baik bagi konsumen dibutuhkan analisa-analisa untuk mengkaji kondisi kestabilan pada sistem. Kestabilan tegangan, analisa aliran daya menjadi hal yang sangat penting untuk menjaga keandalan pada sistem distribusi. Agar dapat memperoleh manfaat dari *Distributed Generation* (DG) akan dilakukan optimasi dalam penempatan dan penentuan kapasitas DG.

Pada Skripsi ini, akan dilakukan simulasi dan analisa Stabilitas Transien pada jaringan distribusi IEEE 33 bus sebelum dan sesudah penambahan pembangkit terdistribusi *Photovoltaic*. Simulasi dibagi dalam dua skenario penambahan *Distributed Generation* (DG) yaitu, skenario 1 penambahan satu pembangkit *Distributed Generation*, dan skenario 2 penambahan dua buah pembangkit *Distributed Generation*.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan Masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh penambahan *Distributed Generation* pada sistem distribusi IEEE 33 bus?
- b. Bagaimana stabilitas transien jika ada salah satu pembangkit *Photovoltaic* lepas dari sistem?
- c. Bagaimana stabilitas transien pada kondisi Islanding (sumber mati)

1.3 Batasan Masalah

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

- a. Simulasi dan Analisa akan dilakukan pada sistem jaringan distribusi radial IEEE 33 bus.
- b. Pembangkit di letakan pada bus 16 dengan kapasitas 149.6 kW dan bus 27 dengan kapasitas 2325.1 kW mengacu pada penelitian [1].
- c. Simulasi dan analisa menggunakan software Etap 12.6.0

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk Mengetahui pengaruh penambahan pembangkit terdistribusi *Photovoltaic* pada jaringan distribusi radial IEEE 33 Bus
- b. Untuk memperoleh informasi pada kondisi transien ketika terjadi perubahan karena adanya penambahan pembangkit.

1.4.2 Manfaat penelitian

Adapun hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memeberikan manfaat sebagai berikut :

- a. Dapat dijadikan sebaga referensi mahasiswa lain yang akan mengambil masalah yang serupa dengan tugas akhir ini.
- b. Informasi yang diperoleh bisa digunakan untuk mengatasi kegagalan pada sistem saat terjadi *troble* atau perubahan, seperti hubungan singkat, perubahan tegangan, dan kelebihan beban.
- c. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang sistem tenaga listrik khususnya *Distributed Generation* bagi pengusul Tugas Akhir.

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 hal-hal yang menjadi latar belakang (masalah), rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab tinjauan pustaka akan dijelaskan sumber bacaan, teori-teori baik dari buku, jurnal dan penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan dan tujuan yang diangkat dalam tugas akhir ini

BAB III Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan rencana dan prosedur penelitian yang dilakukan penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan permasalahan atau tujuan perancangan pada tugas akhir. Diantaranya menjelaskan lokasi penelitian, data penelitian, metode analisis serta bagan alir penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan dari simulasi dan analisa stabilitas transien pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus terhubung dengan energi terbarukan (*Photovoltaic*)

Bab V Penutup

Pada bab ini penulis memberikan kesimpulan dari apa yang telah dibahas dari rumusan masalah dan saran-saran sehubungan dengan topik-topik pembahasan

Daftar Pustaka

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Pada Skripsi akhir ini penulis berpedoman kepada hasil penelitian dari para peneliti sebelumnya untuk mencari landasan acuan teori yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut :

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.

Dalam penelitian yang berjudul “*Optimasi Kapasitas Dan Peletakan Pembangkit Tersebar Berdasarkan Stabilitas Tegangan Menggunakan HPSO*”. Sistem pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik yang ada saat ini tidak akan bisa memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat. Distributed Generation (DG) merupakan pembangkit tenaga listrik yang terhubung dengan jaringan distribusi atau langsung terhubung ke beban. DG mempunyai kelebihan selain membangkitkan daya, termasuk mengurangi kerugian daya, meningkatkan profil tegangan, meningkatkan kestabilan sistem, mengurangi polusi emisi, dll. Pada penelitian ini dilakukan optimasi penentuan kapasitas dan peletakkan

multi DG dengan menggunakan algoritma HPSO pada sistem radial IEEE 33 bus. Simulasi dilakukan menggunakan software MATLAB. Dari hasil simulasi yang diperoleh, pemasangan multi DG pada sistem distribusi dapat memperbaiki profil tegangan sistem pada tiap bus dan mengurangi kerugian daya pada sistem.

Penelitian yang dilakukan oleh Ridho Dwi Laksono di tahun 2019 yang berjudul “*Studi Kestabilan Transien Pada Sistem Distribusi Kabupaten Lima Puluh Kota Akibat Penambahan Distributed Generation Dalam Jumlah Besar*”. Penggunaan energi terbarukan terus dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan akan energi fosil yang memiliki dampak kurang baik terhadap lingkungan. Sumber energi terbarukan seperti tenaga air, tenaga surya, tenaga panas bumi, dan turbin angin telah banyak dikembangkan dan merupakan sumber tenaga yang ramah lingkungan. Pada umumnya pembangkit yang ada memiliki kapasitas yang besar dan terletak jauh dari pusat beban, sehingga memerlukan sistem distribusi yang panjang. Hal tersebut mengakibatkan suplai energi listrik pada ujung beban menjadi tidak tersalurkan sepenuhnya.

Dengan adanya DG yang ditempatkan pada ujung beban yang mempunyai kapasitas kecil dapat membantu mengatasi masalah suplai energi listrik. Penggunaan atau penambahan DG dalam jumlah besar tentunya memiliki dampak terhadap sistem. Dilihat dari respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor penambahan DG dalam jumlah besar memiliki berbagai macam dampak. Dampak yang ada bergantung pada peletakan DG pada sistem, jumlah beban yang ada, rating DG yang digunakan, dan jenis generator yang digunakan.

Dari penelitian yang telah dilakukan di atas, penulis akan melakukan penelitian mengenai simulasi dan analisa stabilitas Transien pada jaringan distribusi IEEE 33 bus sebelum dan sesudah penambahan pembangkit terdistribusi *Photovoltaic*. Simulasi dibagi dalam dua skenario penambahan *Distributed Generation* (DG) yaitu, skenario 1 penambahan satu pembangkit *Distributed Generation*, dan skenario 2 penambahan dua buah pembangkit *Distributed Generation*. Simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 untuk memperoleh informasi pada kondisi transien ketika terjadi perubahan karena adanya tambahan pembangkit *Photovoltaik*.

2.2 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan, dan bertugas menyalurkan tenaga listrik dari stasiun-stasiun suplay tenaga listrik kepada pelanggan. Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan pada sistem distribusi relatif lebih banyak bila dibandingkan dengan jumlah gangguan pada sisi pembangkit maupun transmisi. Dengan memperhatikan masalah ini, maka dalam perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik senantiasa disertai upaya-upaya guna penyempurnaan operasi sistem distribusi

Sistem tenaga listrik merupakan sistem sarana penyaluran tenaga listrik dari titik sumber ke titik pusat beban. Penyaluran tenaga listrik ini mempunyai peranan penting dalam menyuplai tenaga listrik ke konsumen, Hal ini dikarenakan apabila terjadi gangguan pada penyaluran tenaga listrik maka dapat mengakibatkan kerugian baik pada konsumen maupun pada PLN sendiri. Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- 1) Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah)
- 2) Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah)

Jaringan distribusi primer adalah jaringan yang menyalurkan daya tegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV) sebelum gardu distribusi. Sedangkan jaringan distribusi sekunder adalah jaringan yang menyalurkan listrik tegangan rendah (misalnya 220/380 V) yang terletak setelah gardu distribusi. Gardu Distribusi adalah suatu tempat/fasilitas yang di dalamnya terdapat trafo step down yaitu trafo yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah. Berdasarkan konfigurasi jaringannya, jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

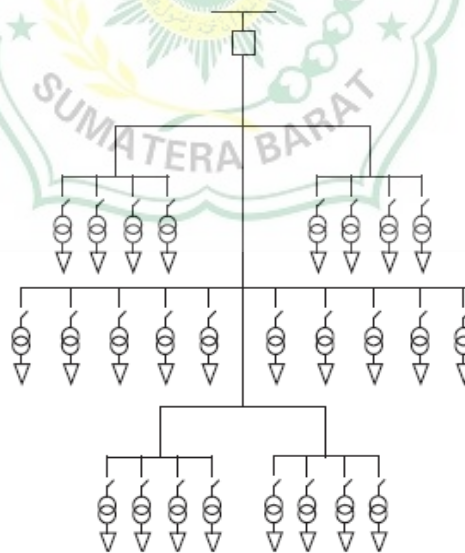
- A. Sistem distribusi Jaringan radial
- B. Sistem distribusi jaringan cincin
- C. Sistem distribusi jaringan spindel

2.2.1 Jenis – jenis Jaringan Distribusi

A. Sistem Distribusi Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana dan banyak digunakan karena biayanya yang murah. Jaringan ini disebut jaringan radial karena sistem ini memiliki beberapa penyulang yang mensuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Di feeder, dipasang gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi merupakan tempat dipasangnya trafo untuk konsumen. Bisa di gedung beton atau ditaruh di tiang.

Pada konfigurasi radial terdapat beberapa kekurangan, misalnya dari segi kualitas pelayanan tenaga listrik dan kontinuitas pelayanan tenaga listrik yang kurang baik. Kualitas daya yang buruk ini disebabkan oleh tegangan dan rugi-rugi daya yang relatif besar. Kontinuitas pelayanan listrik kurang baik karena hanya ada satu jalur utama yang mensuplai daya, sehingga apabila jalur tersebut terputus maka akan terjadi pemadaman total. Kelemahan lainnya adalah kualitas tegangan pada gardu distribusi di ujung kurang baik karena drop tegangan terbesar berada di ujung saluran. Konfigurasi saluran distribusi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1

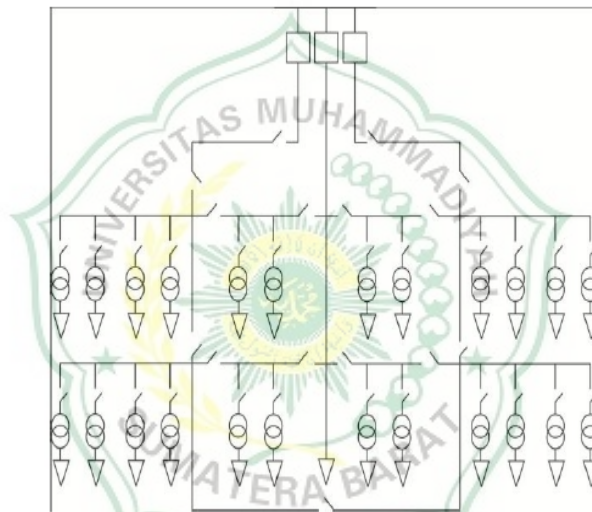


Gambar 2. 1 Sistem distribusi radial

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.

B. Sistem Distribusi Jaringan Loop

Pada konfigurasi ini membentuk jaringan tertutup sehingga memiliki nama lain yaitu jaringan ring. Konfigurasi jaringan seperti gambar 2.2 memungkinkan beban dilayani oleh dua arah saluran sehingga kontinuitas pelayanan lebih baik. Kontinuitas daya lebih baik karena saat terjadi gangguan pada salah satu saluran maka saluran setelah gangguan mampu disuplai oleh sumber lain.



Gambar 2. 2 Sistem distribusi loop

Konfigurasi diatas membuat keandalan sistem jaringan ini lebih baik dari jaringan radial. Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada dua macam, yaitu:

1. *Open Loop*

Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi normally open switch sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan selalu terbuka.

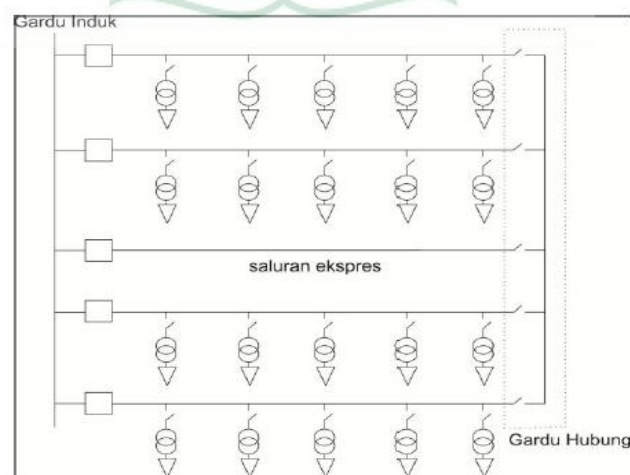
2. *Close Loop*

Salah satu bagian diantara gardu distribusi dilengkapi normally close switch sehingga saat keadaan normal rangkaian tersebut akan 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. Pada sistem ini memiliki kekurangan dalam hal investasi yang lebih mahal. Sistem ini digunakan pada daerah padat dan memerlukan keandalan tinggi.

C. Sistem Distribusi Jaringan Spindel

Saluran konfigurasi spindel yang menggunakan kabel tanah tegangan menengah yang digunakan untuk kota-kota besar. Sistem jaringan spindle menggunakan saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan gardu hubung seperti gambar 2.3. Saluran ini digunakan untuk memasok energi listrik cadangan untuk gardu hubung.



Gambar 2. 3 Sistem distribusi spindel

Saat saluran mengalami gangguan, maka saklar pada bagian yang terganggu akan dibuka. Kemudian saluran lain yang terhubung oleh gardu hubung mendapat suplai dari saluran ekspres sehingga bagian yang tidak terganggu akan tetap tersuplai energi. Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain :

1. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
2. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
3. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

2.3 Photovoltaic (Sel Surya)

Pembangkit sel surya atau lebih dikenal dengan *photovoltaic* (PV) merupakan suatu sistem yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Karakteristik suatu sel surya saat beroperasi tidak sama dengan rating dari panel tersebut atau dapat diartikan saat operasinya panel surya tidak selalu dalam kondisi standar (1000 W/m² suhu sel 25°)

Pengaruh intensitas matahari dimodelkan dengan mempertimbangkan daya output dari modul sel surya yang sebanding dengan radiasinya. Untuk pengujian modul sel surya telah ditentukan dalam Standart Test Condition (STC). Berikut ini adalah daya output dari modul sel surya yang dirumuskan dalam persamaan :

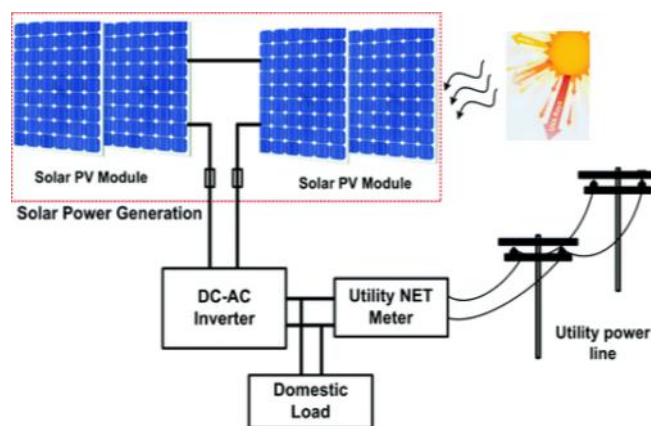
$$P_{PV} = M \left\{ P_{STC} \frac{G_{ING}}{G_{STC}} (1 + k(Tc - Tr)) \right\} \quad (2.1)$$

dimana:

- P_{FV} = daya keluaran modul saat radiasi G_{ING} (Watt)
- P_{STC} = daya maksimum modul saat STC (Watt)
- G_{ING} = radiasi aktual (W/m²)
- G_{STC} = radiasi saat STC (1000 W/m²)
- M = jumlah modul
- k = koefisien suhu untuk daya modul (%°C)
- TC = suhu sel surya (°C)
- Tr = referensi suhu (25°C)

Sel surya merupakan suatu pn junction dari silikon kristal tunggal. Dengan menggunakan photo-electric effect dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah (dc). Bila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn junction, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban. Sebuah sel surya tunggal dapat menghasilkan listrik searah 3 volt dan 3 ampere. Sel-sel ini dapat dibuat dalam berbagai ukuran yang diinginkan dengan jalan menghubungkan seri sel-sel yang sama untuk membentuk modul sel surya dengan keluaran yang diperlukan.

Kelebihan dari PV adalah fleksibel digunakan dan dipasang diberbagai kondisi jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain seperti PLTMH dan PLTB, ketersediaan sinar matahari sepanjang hari, siklus kerja yang lama, perawatan yang mudah, biaya operasi yang rendah, dan ramah lingkungan. Prinsip kerja dari photovoltaik adalah menggunakan grid-connected panel sel surya photovoltaic (PV). Modul sel surya PV mengubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui inverter (konversi daya) yang mengubahnya menjadi arus listrik AC, yang secara otomatis juga akan mengatur seluruh sistem. Listrik AC akan didistribusikan melalui panel distribusi yang akan mengalirkan listrik pada sistem distribusi.



Gambar 2.4. Skema PV-DG

2.3.1 Jenis-jenis sel surya

a. *Mono-crystalline*

Sel surya jenis mono-crystalline ini terbuat dari silikon kristal tunggal. Dapat ditemukan secara alami, namun sangat jarang atau juga dapat tumbuh dibuat di laboratorium. Proses ini dinamakan dengan recrystallising, sehingga pembuatan dan harga dari modul jenis ini sangat mahal. Panel dari sel mono-crystalline ini lebih halus dibandingkan dengan jenis poly-crystalline. Pada panel mono-crystalline memiliki efisiensi sebesar 15% pada suhu 25 °C dan menurun menjadi 12–15 % pada suhu 50 °C. contoh dari modul mono-crystalline adalah CanadianSolar All-Black CS6K-290MS, CanadianSolar MaxPower CS6U-340M dan lainnya. Kelemahan dari jenis mono-crystalline yakni tidak berfungsi dengan baik ditempat yang intensitas cahaya matahari yang kurang, dan efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

b. *Poly-crystalline*

Sel surya jenis poly-crystalline adalah jenis modul surya yang terbuat dari kristal silikon block-cast. Elektron yang ada akan terjebak dalam batas butir kristal individu dalam panel poly-crystalline, hal ini menyebabkan efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan mono-crystalline. Efisiensi yang dimiliki oleh modul jenis ini hanya berkisar 13,5% pada suhu 25°C dan dapat mengalami penurunan hingga 15-25% pada suhu 50°C. contoh dari modul surya poly-crystalline adalah Canadian Solar Standard CS6P-260. Tipe ini yang digunakan pada perancangan pembangkit listrik tenaga surya berbasis hybrid dikarenakan jenis ini masih dapat menghasilkan daya listrik meskipun cuaca berawan maupun mendung.



Gambar 2.5. Modul photovoltaic

2.4 Distributed Generation (DG)

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: [1]

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.

2.4.1 Keuntungan Distributed Generation

DG termasuk teknologi yang terus berkembang dan dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi dalam cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat-pusat pembangkit konvensional. Sebagian besar DG memang sangat fleksibel dalam beberapa hal seperti operasi, ukuran, dan kemajuan teknologi. Selain itu, DG dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

Dalam pemasangannya di jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG:

1. DG memberikan keandalan yang lebih tinggi dalam pemanfaatan daya
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya.
3. Dibandingkan dengan power plants, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu bila dikoneksikan pada jaringan

DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena Distributed Generation membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.

4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol.

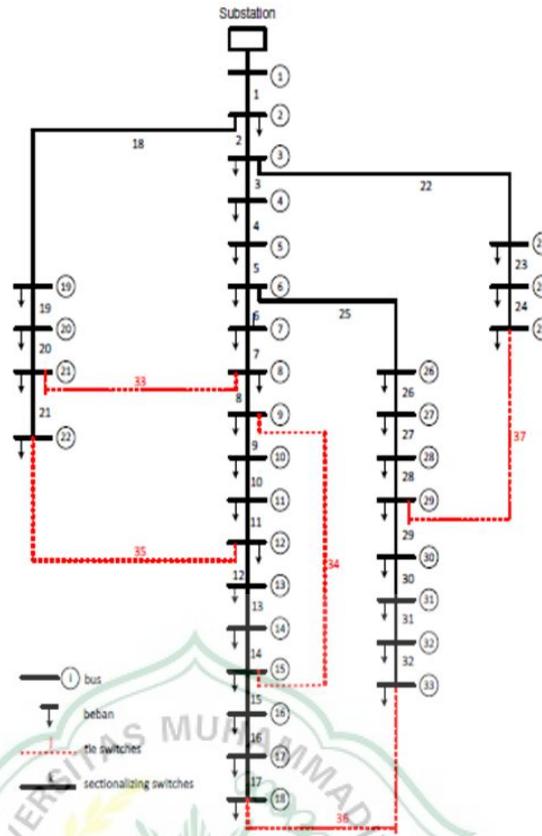
2.4.2 Kerugian Distributed Generation

Disamping meningkatkan keandalan, pemasangan DG skala besar dapat menyebabkan beberapa kerugian :

1. Mengakibatkan perubahan pada level tegangan.
2. Investasi cukup mahal.
3. Mempengaruhi Frekuensi Listrik.

2.5 Sistem Distribusi 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 2.3 berikut :



Gambar 2.6. Jaringan distribusi radial IEEE 33 bus

2.6 Aliran Daya

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 :

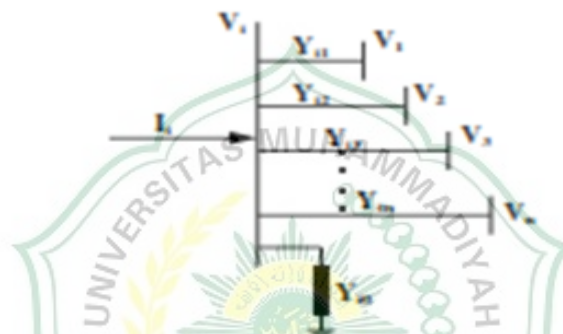
- a. Data pembangkit generator, yaitu kapasitas daya aktif P dalam satuan Megawatt MW dan reaktif Q dalam satuan Megavolt Ampere MVA , tegangan terminal V dalam satuan Kilovolt KV dan reaktansi sinkron X dalam satuan Ohm Ω .
- b. Data Transformator Daya, yaitu kapasitas tiap trafo dalam satuan Megavolt 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 2.7 Tipikal bus dari sistem tenaga

2.7 Kestabilan Transien

Gejala peralihan atau transien merupakan perubahan nilai tegangan atau arus maupun keduanya baik sesaat maupun dalam jangka waktu tertentu (dalam orde mikro detik) dari kondisi tunaknya (*steady state*). Penyebabnya adalah dapat dari lingkungan atau faktor eksternal seperti petir, dan dapat juga akibat perlakuan terhadap sistem itu sendiri atau faktor internal seperti *switching*. Transien sudah lama digunakan dalam istilah tenaga listrik sebagai sesuatu kejadian yang sebenarnya tidak diinginkan dan sifatnya sangat cepat, namun merupakan suatu kejadian yang alami sehingga tidak dapat dicegah. Kondisi transien dapat berupa tegangan ataupun arus. Untuk transien arus lebih dikenal secara khusus sekarang ini sebagai arus *inrush*. Pada rangkaian listrik, transien merupakan suatu karakteristik respon alami tegangan atau arus dari sistem yang terdiri dari komponen resistif (R), induktif (L) dan kapasitif (C).

2.7.1 Penyebab 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.

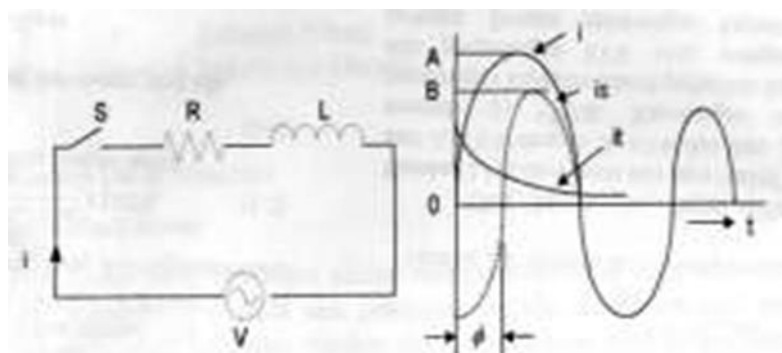
Perubahan yang sangat cepat ini bagaimanapun juga tidak dapat terjadi secara seketika karena proses transien dicapai melalui pertukaran energi, yang biasanya tersimpan dalam medan magnet dari induktansi dan atau medan listrik dari kapasitansi. Perubahan energi tidak dapat terjadi secara mendadak karena akan menghasilkan daya yang tidak terbatas (daya adalah turunan dari energi, $P = \frac{dW}{dt}$, yang tidak mungkin terjadi dalam keadaan sesungguhnya. Semua perubahan parameter saat transien (yang disebut juga respon transien) kemudian menghilang, dan akan muncul keadaan tunak baru.

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 2.8., berikut :



Gambar 2.8. Rangkaian dan bentuk gelombang arus rangkaian R-L pada bentuk gelombang arus untuk rangkaian R-L, didapat :

i = rus awal (Ampere)

V = tegangan (Volt)

R = tahanan (Ohm)

L = induktansi (Hendry)

i_s = arus steady state (Ampere)

i_t = arus transien (Ampere)

t = waktu (detik)

Sehingga :
$$i_t = A \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \quad (2.2)$$

dengan :

i_t = arus transien (ampere)

A = konstanta

R = tahanan (ohm)

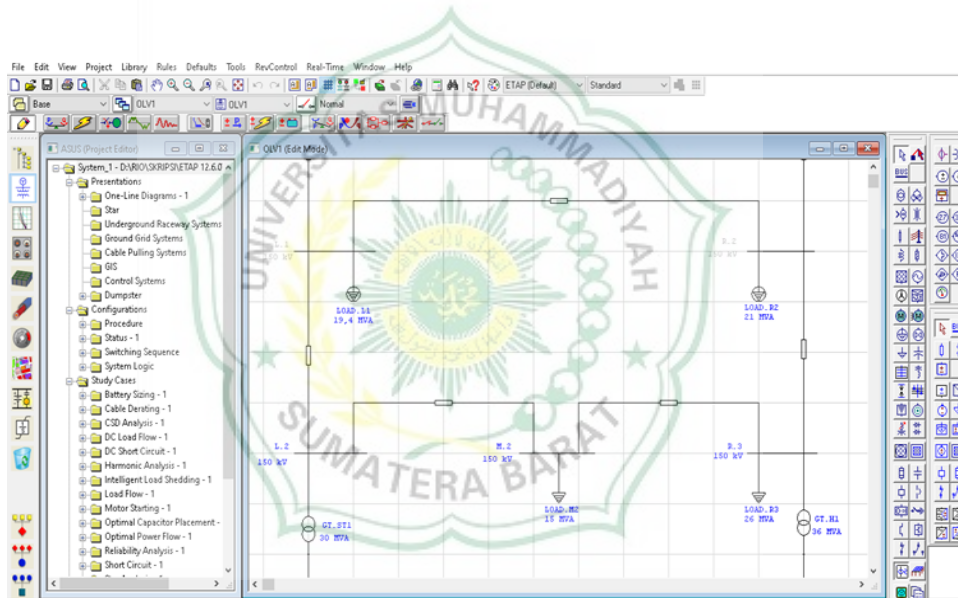
L = induktansi (henry)

2.8 Aplikasi ETAP

ETAP merupakan suatu perangkat aplikasi yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data 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. (Lauhil, Taufik, Choirul, I Made, & Teguh, 2017).

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, sistem harmonisa dan lain sebagainya. Aplikasi ini dirancang dengan tiga konsep utama. Yaitu: *virtual reality operation*, *total integration data*, dan *simplicity in data entry*

Pada aplikasi ETAP 12.6.0 ini terdapat beberapa standar baku seperti: standar yang digunakan plant (ANSI atau IEC), frekuensi, maupun jenis-jenis elemennya (elemen AC, instrument, maupun elemen DC). Berbagai macam jenis gangguan, dan jenis-jenis pengamannya Dan ETAP 12.6.0 merupakan software yang terbaik untuk menganalisa secara keseluruhan sebuah sistem



Gambar 2.9. Tampilan worksheet software ETAP 12.6.0

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:

4. Tegangan mengalami *under voltage*, yaitu tegangan dibawah 95% dari tegangan nominal.
5. Tegangan normal yaitu tegangan yang berada di antara 95% sampai 105% dari tegangan nominal.
6. Tegangan mengalami *over voltage*, yaitu nilai tegangan diatas 105 % dari tegangan nominal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini literatur yang digunakan berasal dari paper, jurnal dan text book. Dan lokasi yang akan digunakan untuk pengolahan data pada penelitian adalah 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, dengan uraian masing-masing sebagai berikut.

3.2.1 Jenis penelitian

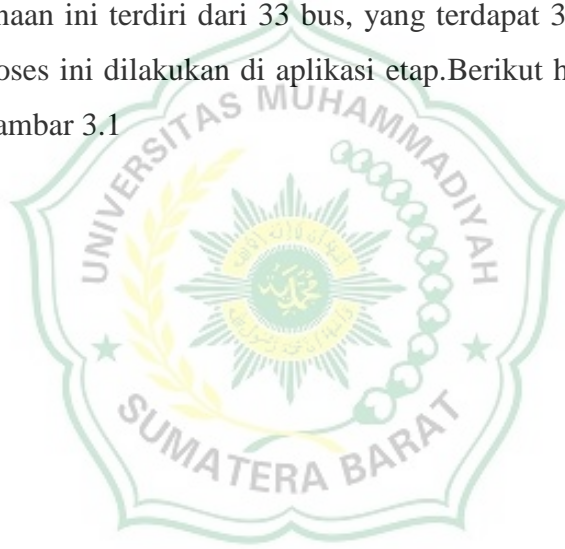
Jenis penelitian yang digunakan oleh penulis yakni jenis penelitian kuantitatif dengan metode Eksperimen. Penelitian kuantitatif adalah metode penelitian yang baku, terencana, terstruktur dengan jelas dan tepat. Metode Eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk menguji hipotesis atau objek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

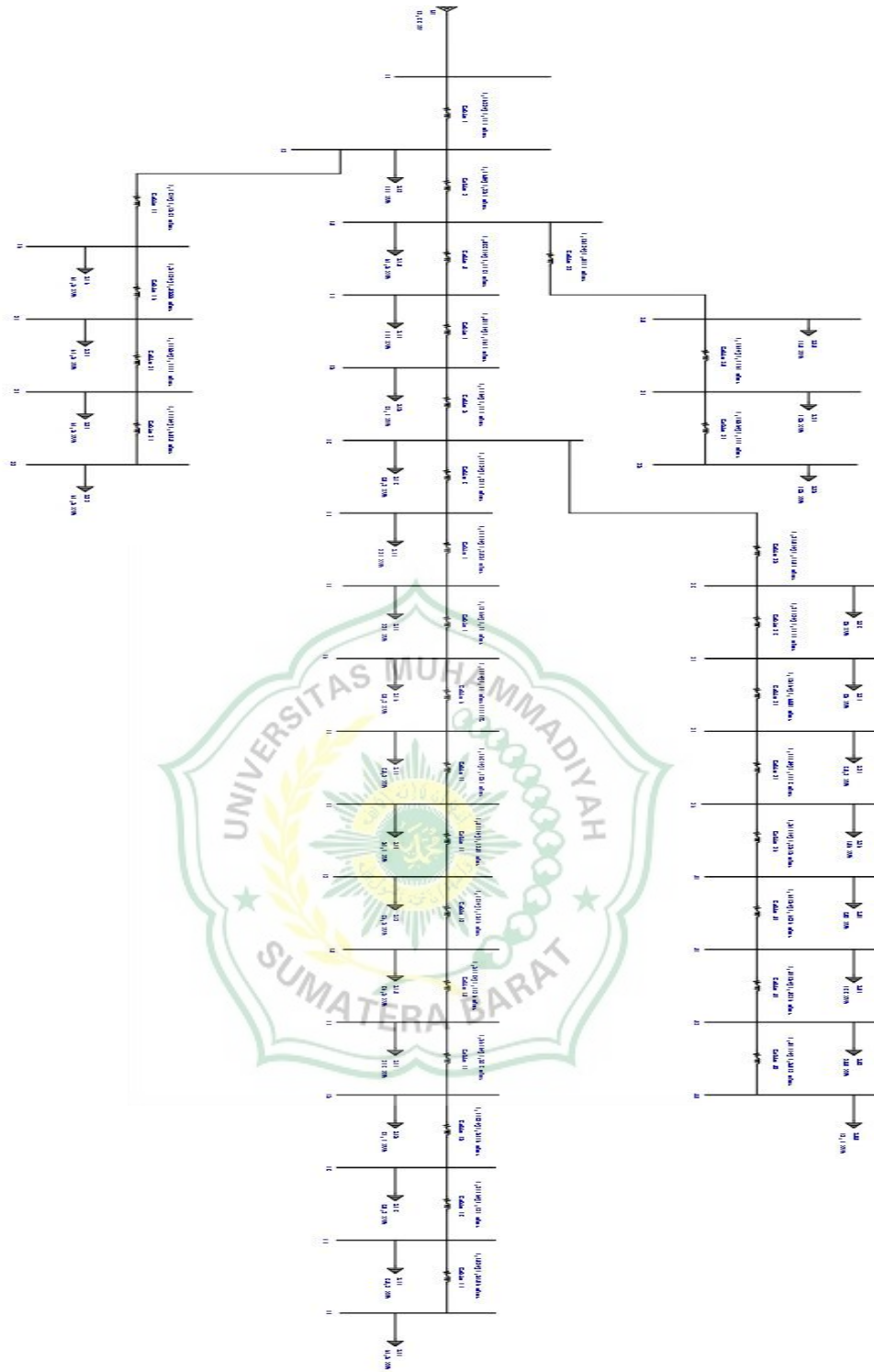
3.2.2 Sumber data

Penelitian ini diawali dengan data IEEE 33 bus, pada tahap ini penelitian mengumpulkan data yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan, dokumen, jurnal atau sumber tertulis lainnya. 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 IEEE 33 Bus

Berikut langkah- langkah pemodelan IEEE 33 Bus :

- 1 Jalankan aplikasi ETAP versi 12.6.0
- 2 Pilih mode edit
- 3 Tarik power grid dari library ke lembar kerja.berikut masukkan data Power Grid yaitu :
 - a Operasi mode : swing
 - b Rated kV : 12,66
- 4 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 :
 - a Klik dua kali pada bus
 - b Pada tab info, masukkan id sesuai nama bus
 - c Masukkan nominal kV tiap bus sebesar : 12,66
- 5 Tambahkan 1 *high voltage* CB dari library ke lembar kerja. Hubungkan *high voltage* CB dengan power grid dan bus 1
- 6 Lalu masing-masing bus diberi peggantar (kabel). Lakukan konfigurasi pada masing-masing peggantar. Berikut masukkan data kabel yaitu :
 - a Klik dua kali pada kabel.
 - b Pada tab info masukkan id sesuai nama kabel dan masukkan *length* : 1 ft
 - c Inputkan data Impedansi, Data impedansi ini berguna sebagai hambatan listrik yang dihasilkan dalam rangkaian listrik Ketika arus bolak-balik mencoba melewatinya.Data impedansi ini diinput pada tool kabel pada aplikasi ETAP. Berikut adalah data impedansi yang akan di input terlihat pada table 3.2

Table 3.1 Data impedansi saluran Jaringan distribusi Radial IEEE 33 Bus

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

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

- 7 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 :
- Klik dua kali *static load*
 - Pada tab loading masukkan nilai kW dan kVAr. Berikut tabel nilai kW dan kVAr pada masing-masing beban :

Table 3.2 data beban di jaringan distribusi IEEE 33 Bus

Bus		Beban	
ID	kV	MW	mVA2r
01	12.660		
02	12.660	0.100	0.060
03	12.660	0.090	0.040
04	12.660	0.120	0.080
05	12.660	0.060	0.030
06	12.660	0.060	0.020
07	12.660	0.200	0.100
08	12.660	0.200	0.100
09	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

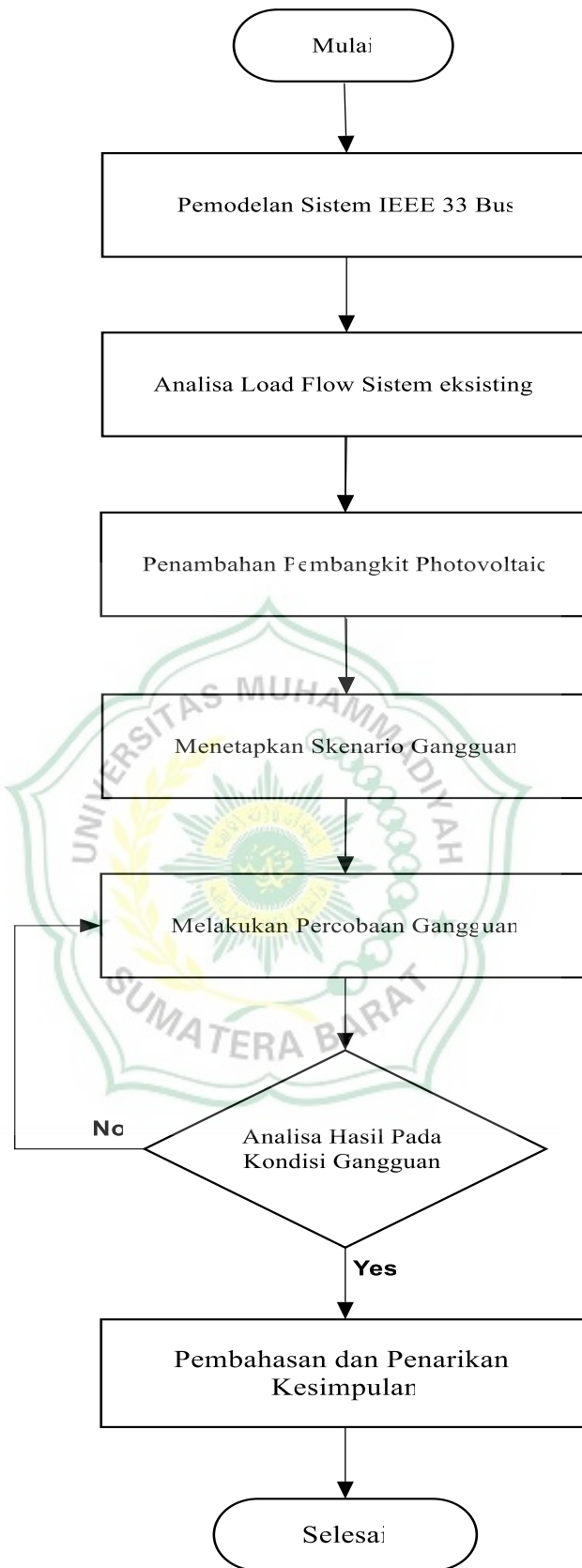
3.3 Metode Analisa

Pada penelitian ini melakukan simulasi dan analisa stabilitas transien pada jaringan distribusi radial IEEE 33 Bus dan mengamati perubahan parameter ketika mengalami gangguan. 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

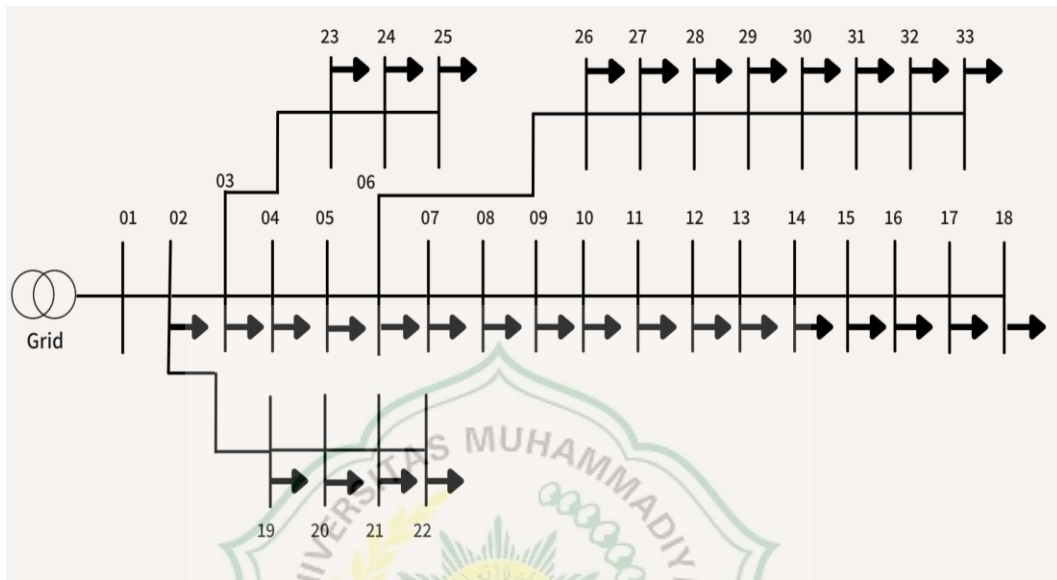
Pada analisa stabilitas transien pada jaringan distribusi radial IEEE 33 Bus yang terhubung dengan pembangkit *photovoltaic* ini dilakukan dengan beberapa langkah-langkah. Adapun alur dari penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan oleh gambar 3.2. berikut ini :



Gambar 3.2. Flowchart penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Load Flow Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Tanpa Ada Penambahan Distributed Generation



Gambar 4.1 *One line* diagram IEEE 33 bus tanpa DG

Berdasarkan data *one line* diagram sistem distribusi radial IEEE 33 Bus Sebelum melakukan penambahan DG, dilakukan simulasi aliran daya (*load flow*) saat tanpa DG. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi awal dari sistem distribusi IEEE 33 bus. Simulasi aliran daya dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Electrical Transient and Analysis Simulation* (ETAP). Dari pengolahan data Kondisi awal yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil simulasi setelah dilakukan pemasangan DG. 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		
		%	kV	
01	12,660	100	12,660	Normal
02	12,660	99,729	12,625	Normal
03	12,660	98,455	12,464	Normal
04	12,660	97,792	12,380	Normal
05	12,660	97,140	12,297	Normal
06	12,660	95,507	12,091	Normal
07	12,660	95,169	12,048	Normal
08	12,660	93,936	11,892	<i>Under Voltage</i>
09	12,660	93,360	11,819	<i>Under Voltage</i>
10	12,660	93,360	11,819	<i>Under Voltage</i>
11	12,660	93,283	11,809	<i>Under Voltage</i>
12	12,660	93,149	11,792	<i>Under Voltage</i>
13	12,660	92,566	11,718	<i>Under Voltage</i>
14	12,660	92,334	11,689	<i>Under Voltage</i>
15	12,660	92,215	11,674	<i>Under Voltage</i>
16	12,660	92,100	11,659	<i>Under Voltage</i>
17	12,660	91,930	11,638	<i>Under Voltage</i>
18	12,660	91,879	11,632	<i>Under Voltage</i>
19	12,660	99,677	12,619	Normal
20	12,660	99,324	12,574	Normal
21	12,660	99,255	12,565	Normal
22	12,660	99,192	12,557	Normal
23	12,660	98,116	12,421	Normal
24	12,660	97,486	12,341	Normal
25	12,660	97,173	12,302	Normal
26	12,660	95,341	12,070	Normal
27	12,660	95,121	12,042	Normal
28	12,660	94,140	11,918	<i>Under Voltage</i>

29	12,660	93,436	11,828	<i>Under Voltage</i>
30	12,660	93,132	11,790	<i>Under Voltage</i>
31	12,660	92,777	11,745	<i>Under Voltage</i>
32	12,660	92,699	11,735	<i>Under Voltage</i>
33	12,660	92,675	11,732	<i>Under Voltage</i>

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 pada sistem ini dan 17 bus lainnya mengalami jatuh tegangan diatas 5% dari tegangan nominal.

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

Kode Kabel	Bus		kW	kVAr
	Dari	ke		
Kabel 1	01	02	10,2	5,2
Kabel 2	02	03	42,4	21,6
Kabel 3	03	04	0,2	0,1
Kabel 4	04	05	15,8	8,0
Kabel 5	05	06	2,8	1,9
Kabel 6	06	07	14,7	7,5
Kabel 7	07	08	30,0	25,9
Kabel 8	08	09	1,6	5,1
Kabel 9	09	10	1,9	1,0
Kabel 10	10	11	9,4	6,8
Kabel 11	11	12	3,4	2,5
Kabel 12	12	13	0,0	0,0
Kabel 13	13	14	0,5	0,2
Kabel 14	14	15	0,7	0,2
Kabel 15	15	16	2,3	1,8
Kabel 16	16	17	0,6	0,8
Kabel 17	17	18	0,3	0,2
Kabel 18	18	19	0,2	0,1
Kabel 19	19	20	0,2	0,2

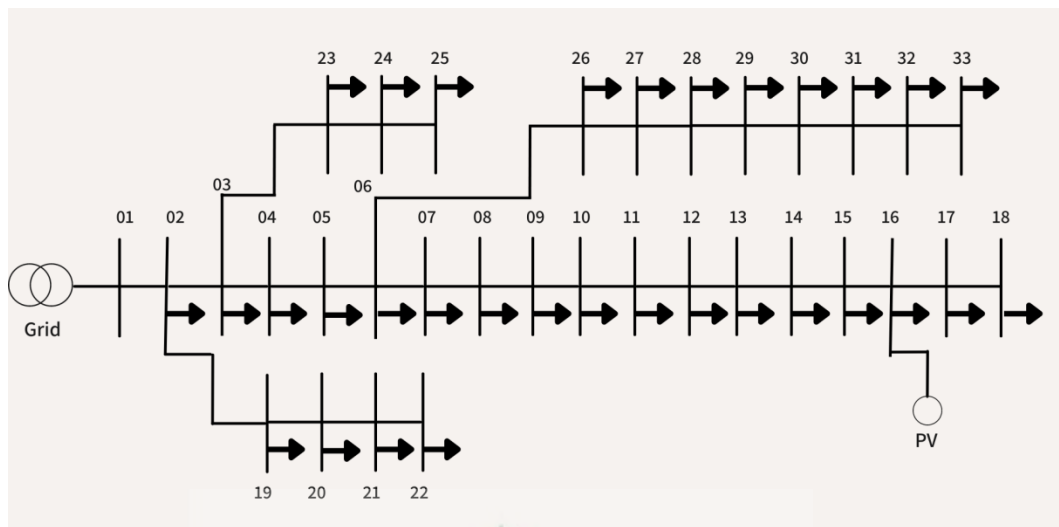
Kabel 20	20	21	0,0	0,0
Kabel 21	21	22	0,8	0,7
Kabel 22	22	23	0,1	0,1
Kabel 23	23	24	0,0	0,1
Kabel 24	24	25	4,6	3,6
Kabel 25	25	26	1,1	0,9
Kabel 26	26	27	2,5	1,3
Kabel 27	27	28	8,3	7,3
Kabel 28	28	29	5,7	5,0
Kabel 29	29	30	2,9	1,5
Kabel 30	30	31	1,2	1,1
Kabel 31	31	32	0,2	0,2
Kabel 32	32	33	0,0	0,0
Total			164.7	111.2

Dari tabel 4.2 diatas, total rugi-rugi daya pada sistem IEEE 33 bus berjumlah 164.7 kW. Dimana terdapat lima kabel yang memiliki rugi-rugi daya tinggi yaitu di atas 10 kW. Kabel yang memiliki rugi-rugi daya sangat besar yaitu pada kabel 2 yang menghubungkan bus 02 dengan bus 03 sebesar 42,4 kW.

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

Berdasarkan pengolahan data aliran daya pada sistem distribusi IEEE 34 bus terjadi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang sangat tinggi, dalam hal ini perlu diperbaiki dengan menggunakan pembangkit tersebar salah satunya menggunakan sistem *photovoltaic*. Penentuan letak DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dilakukan berdasarkan hasil penelitian.[1] Dimana pemasangan DG dilakukan pada bus-bus berikut ini:

4.2.1 Simulasi Pemasangan Satu DG Pada Bus 16



Gambar 4.2. One line diagram IEEE 33 bus penambahan DG pada bus 16

Pada pemasangan satu DG pada bus 16 Untuk nilai jatuh tegangan setelah adanya pemasangan pembangkit tersebar dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini:

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

Bus	Tegangan			Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi		
		%	kV	
01	12,660	100,000	12,660	Normal
02	12,660	99,737	12,628	Normal
03	12,660	98,509	12,471	Normal
04	12,660	97,880	12,392	Normal
05	12,660	97,262	12,313	Normal
06	12,660	95,705	12,116	Normal
07	12,660	95,382	12,075	Normal
08	12,660	94,310	11,939	<i>Under Voltage</i>
09	12,660	93,831	11,879	<i>Under Voltage</i>
10	12,660	93,831	11,879	<i>Under Voltage</i>

11	12,660	93,773	11,872	<i>Under Voltage</i>
12	12,660	93,675	11,859	<i>Under Voltage</i>
13	12,660	93,233	11,803	<i>Under Voltage</i>
14	12,660	93,051	11,780	<i>Under Voltage</i>
15	12,660	92,989	11,772	<i>Under Voltage</i>
16	12,660	92,947	11,767	<i>Under Voltage</i>
17	12,660	92,775	11,745	<i>Under Voltage</i>
18	12,660	92,724	11,739	<i>Under Voltage</i>
19	12,660	99,685	12,620	Normal
20	12,660	99,333	12,576	Normal
21	12,660	99,264	12,567	Normal
22	12,660	99,201	12,559	Normal
23	12,660	98,170	12,428	Normal
24	12,660	97,539	12,348	Normal
25	12,660	97,226	12,309	Normal
26	12,660	95,538	12,095	Normal
27	12,660	95,317	12,067	Normal
28	12,660	94,334	11,943	<i>Under Voltage</i>
29	12,660	93,629	11,853	<i>Under Voltage</i>
30	12,660	93,325	11,814	<i>Under Voltage</i>
31	12,660	92,969	11,769	<i>Under Voltage</i>
32	12,660	92,891	11,760	<i>Under Voltage</i>
33	12,660	92,867	11,757	<i>Under Voltage</i>
PV2_HV	12,660	92,947	11,767	<i>Under Voltage</i>
PV2_LV	0,22	93,222	0,205	<i>Under Voltage</i>

Setelah pemasangan satu DG pada bus16, dari tabel 4.3 diatas berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa tegangan masih belum mengalami perbaikan. Dimana jatuh tegangan masih terjadi di beberapa bus di atas 5% dari tegangan nominal.

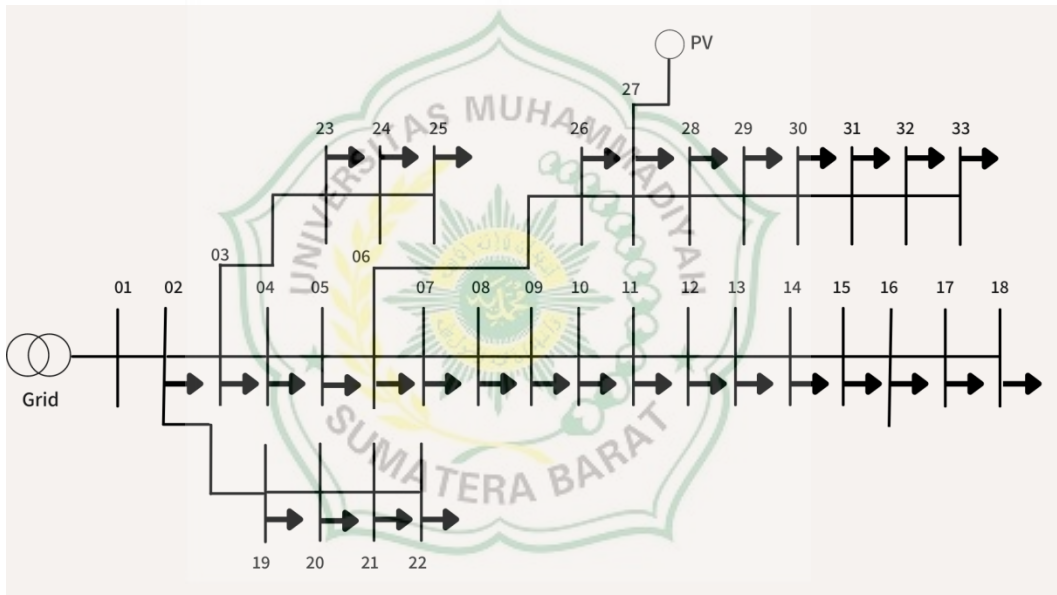
Tabel 4.4 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 16 pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Kode Kabel	Bus		kW	kVAr
	Dari	ke		
Kabel 1	01	02	9,6	4,9
Kabel 2	02	03	39,7	20,2
Kabel 3	03	04	0,2	0,1
Kabel 4	04	05	14,4	7,3
Kabel 5	05	06	2,9	1,9
Kabel 6	06	07	13,4	6,8
Kabel 7	07	08	27,2	23,5
Kabel 8	08	09	1,2	4,1
Kabel 9	09	10	1,9	1,0
Kabel 10	10	11	7,1	5,1
Kabel 11	11	12	2,4	1,7
Kabel 12	12	13	0,0	0,0
Kabel 13	13	14	0,3	0,1
Kabel 14	14	15	0,5	0,2
Kabel 15	15	16	1,4	1,1
Kabel 16	16	17	0,4	0,5
Kabel 17	17	18	0,1	0,1
Kabel 18	18	19	0,0	0,0
Kabel 19	19	20	0,2	0,2
Kabel 20	20	21	0,0	0,0
Kabel 21	21	22	0,8	0,7
Kabel 22	22	23	0,1	0,1
Kabel 23	23	24	0,0	0,1
Kabel 24	24	25	4,6	3,6
Kabel 25	25	26	1,1	0,9
Kabel 26	26	27	2,5	1,3
Kabel 27	27	28	8,3	7,4
Kabel 28	28	29	5,8	5,0
Kabel 29	29	30	2,9	1,5
Kabel 30	30	31	1,2	1,1

Kabel 31	31	32	0,2	0,2
Kabel 32	32	33	0,0	0,0
PV_XFMR1	PV2_HV	PV2_LV	0,6	6,1
Total			150.8	106.8

Dari tabel 4.4. diatas, setelah pemasangan pembangkit tersebar *photovoltaic* pada bus 16 rugi-rugi daya yang ada pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus ini berkurang sebesar 13,9 kW yang awalnya sebelum pemasangan *photovoltaic* sebesar 164,7 kW, sehingga menjadi 150,8 kW.

4.2.2 Simulasi Pemasangan Satu DG Pada Bus 27



Gambar 4.3. *One line* diagram IEEE 33 bus pemasangan DG pada bus 27

Pada pemasangan satu DG pada bus 27 untuk nilai jatuh tegangan setelah adanya pemasangan pembangkit tersebar dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini:

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

Bus	Tegangan			Kondisi
	Nominal (kV)	Hasil Simulasi		
		%	kV	
01	12,660	100,000	12,660	Normal
02	12,660	99,857	12,641	Normal
03	12,660	99,270	12,567	Normal
04	12,660	99,122	12,548	Normal
05	12,660	99,007	12,534	Normal
06	12,660	98,506	12,470	Normal
07	12,660	98,158	12,427	Normal
08	12,660	96,886	12,265	Normal
09	12,660	96,292	12,191	Normal
10	12,660	96,291	12,190	Normal
11	12,660	96,212	12,180	Normal
12	12,660	96,074	12,162	Normal
13	12,660	95,473	12,086	Normal
14	12,660	95,234	12,056	Normal
15	12,660	95,111	12,041	Normal
16	12,660	94,993	12,026	<i>Under Voltage</i>
17	12,660	94,817	12,003	<i>Under Voltage</i>
18	12,660	94,765	11,997	<i>Under Voltage</i>
19	12,660	99,805	12,635	Normal
20	12,660	99,452	12,590	Normal
21	12,660	99,383	12,581	Normal
22	12,660	99,320	12,573	Normal
23	12,660	98,928	12,524	Normal
24	12,660	98,293	12,443	Normal
25	12,660	97,977	12,403	Normal
26	12,660	98,636	12,487	Normal
27	12,660	98,830	12,511	Normal
28	12,660	97,811	12,382	Normal

29	12,660	97,080	12,290	Normal
30	12,660	96,764	12,250	Normal
31	12,660	96,396	12,204	Normal
32	12,660	96,315	12,193	Normal
33	12,660	96,290	12,190	Normal
PV1_HV	12,660	98,830	12,512	Normal
PV1_LV	0,22	99,158	0,218	Normal

Setelah pemasangan satu DG pada bus 27, dari tabel 4.5 diatas berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa tegangan sudah mengalami perbaikan dibanding sebelumnya. Pada simulasi ini jatuh tegangan hanya terjadi di tiga bus diatas 5 % dari tegangan nominal.

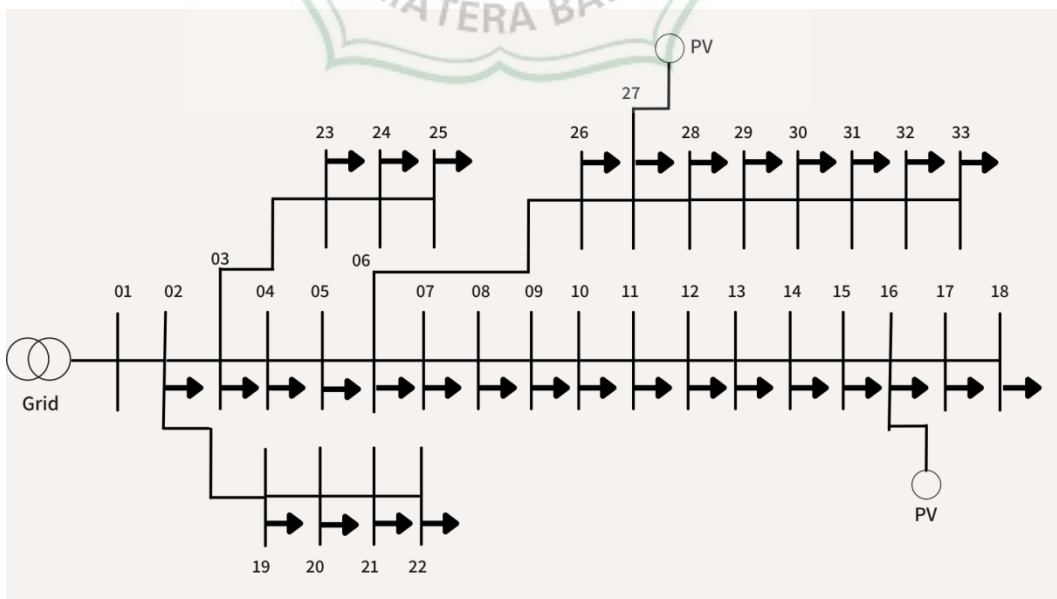
Tabel 4.6 Data rugi-rugi daya setelah pemasangan DG pada bus 27 sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Kode Kabel	Bus		kW	kVAr
	Dari	ke		
Kabel 1	01	02	4,4	2,2
Kabel 2	02	03	17,4	8,8
Kabel 3	03	04	0,2	0,1
Kabel 4	04	05	7,3	3,7
Kabel 5	05	06	2,9	2,0
Kabel 6	06	07	7,1	3,6
Kabel 7	07	08	15,1	13,0
Kabel 8	08	09	1,7	5,5
Kabel 9	09	10	4,4	2,3
Kabel 10	10	11	10,0	7,3
Kabel 11	11	12	3,6	2,6
Kabel 12	12	13	0,0	0,0
Kabel 13	13	14	0,5	0,2
Kabel 14	14	15	0,8	0,3
Kabel 15	15	16	2,4	1,9
Kabel 16	16	17	0,7	0,9
Kabel 17	17	18	0,3	0,2
Kabel 18	18	19	0,2	0,2
Kabel 19	19	20	0,2	0,3

Kabel 20	20	21	0,0	0,0
Kabel 21	21	22	0,8	0,7
Kabel 22	22	23	0,1	0,1
Kabel 23	23	24	0,0	0,1
Kabel 24	24	25	4,7	3,7
Kabel 25	25	26	1,2	0,9
Kabel 26	26	27	6,4	3,3
Kabel 27	27	28	9,0	7,9
Kabel 28	28	29	6,2	5,4
Kabel 29	29	30	3,1	1,6
Kabel 30	30	31	1,2	1,2
Kabel 31	31	32	0,2	0,2
Kabel 32	32	33	0,0	0,0
PV_XFMR5	PV1_HV	PV1_LV	10,8	114,9
Total			122,8	195,1

Dari tabel 4.6.diatas,setelah pemasangan pembangkit tersebar *photovoltaic* pada bus 27 rugi-rugi daya yang ada pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus ini berkurang sebesar 41,9 kW yang awalnya sebelum pemasangan *photovoltaic* sebesar 164,7 kW, sehingga menjadi 122,8 kW.

4.2.3 Simulasi Pemasangan Dua DG



Gambar 4.4. One line diagram IEEE 33 bus pemasangan DG pada bus 16 dan 27

Pada pemasangan satu DG pada bus 16 dan 27 untuk nilai jatuh tegangan setelah adanya pemasangan pembangkit tersebar dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini:

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		
		%	kV	
01	12,660	100,000	12,660	Normal
02	12,660	99,865	12,643	Normal
03	12,660	99,320	12,574	Normal
04	12,660	99,203	12,559	Normal
05	12,660	99,121	12,549	Normal
06	12,660	98,690	12,494	Normal
07	12,660	98,357	12,452	Normal
08	12,660	97,242	12,311	Normal
09	12,660	96,742	12,248	Normal
10	12,660	96,742	12,248	Normal
11	12,660	96,681	12,239	Normal
12	12,660	96,578	12,227	Normal
13	12,660	96,113	12,168	Normal
14	12,660	95,923	12,144	Normal
15	12,660	95,856	12,135	Normal
16	12,660	95,808	12,129	Normal
17	12,660	95,631	12,107	Normal
18	12,660	95,578	12,100	Normal
19	12,660	99,813	12,636	Normal
20	12,660	99,460	12,592	Normal
21	12,660	99,390	12,583	Normal
22	12,660	99,328	12,575	Normal
23	12,660	98,978	12,531	Normal
24	12,660	98,342	12,450	Normal
25	12,660	98,026	12,410	Normal

26	12,660	98,819	12,510	Normal
27	12,660	99,012	12,535	Normal
28	12,660	97,991	12,406	Normal
29	12,660	97,259	12,313	Normal
30	12,660	96,942	12,273	Normal
31	12,660	96,573	12,226	Normal
32	12,660	96,492	12,216	Normal
33	12,660	96,467	12,213	Normal
PV1_HV	12,660	99,012	12,535	Normal
PV1_LV	0,22	99,340	12,576	Normal
PV2_HV	12,660	95,808	12,129	Normal
PV2_LV	0,22	96,079	0,211	Normal

Setelah pemasangan satu DG pada bus 16 dan 27, dari tabel 4.7 diatas berdasarkan simulasi aliran daya yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa tegangan sudah mengalami perbaikan dibanding sebelumnya. Pada simulasi ini tidak ada lagi bus yang mengakami jatuh tegangan diatas 5 % dari tegangan nominal.

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

Kode Kabel	Bus		kW	kVAr
	Dari	ke		
Kabel 1	01	02	4,2	2,1
Kabel 2	02	03	16,9	8,6
Kabel 3	03	04	0,2	0,1
Kabel 4	04	05	7,6	3,9
Kabel 5	05	06	2,9	2,0
Kabel 6	06	07	7,5	3,8
Kabel 7	07	08	16,0	13,8
Kabel 8	08	09	1,3	4,4
Kabel 9	09	10	4,4	2,2
Kabel 10	10	11	7,7	5,5
Kabel 11	11	12	2,6	1,8

Kabel 12	12	13	0,0	0,0
Kabel 13	13	14	0,3	0,1
Kabel 14	14	15	0,5	0,2
Kabel 15	15	16	1,5	1,2
Kabel 16	16	17	0,4	0,5
Kabel 17	17	18	0,1	0,1
Kabel 18	18	19	0,0	0,0
Kabel 19	19	20	0,2	0,3
Kabel 20	20	21	0,0	0,0
Kabel 21	21	22	0,8	0,7
Kabel 22	22	23	0,1	0,1
Kabel 23	23	24	0,0	0,1
Kabel 24	24	25	4,7	3,7
Kabel 25	25	26	1,2	0,9
Kabel 26	26	27	6,4	3,3
Kabel 27	27	28	9,0	7,9
Kabel 28	28	29	6,2	5,4
Kabel 29	29	30	3,1	1,6
Kabel 30	30	31	1,3	1,2
Kabel 31	31	32	0,2	0,2
Kabel 32	32	33	0,0	0,0
PV_XFMR5	PV1_LV	PV1_LV	10,7	114,5
PV_XFMR1	PV2_HV	PV2_LV	0,5	5,7
Total			118,5	196,1

Dari tabel 4.8 diatas, setelah pemasangan pembangkit tersebar *photovoltaic* pada bus 16 dan 27 rugi-rugi daya yang ada pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus ini berkurang sebesar 46,2 kW yang awalnya sebelum pemasangan *photovoltaic* sebesar 164,7 kW, sehingga menjadi 118,5 kW.

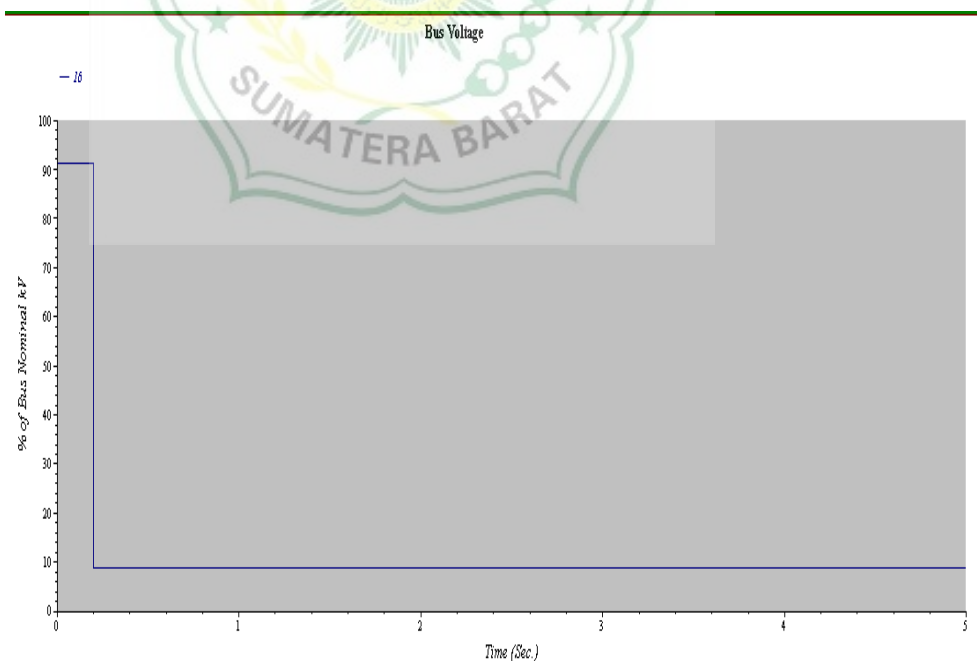
4.3 Analisa Stabilitas Transien

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

4.3.1 Stabilitas Transien Pemasangan Satu Distributet Generation Pada Bus 16

1 Grafik Tegangan pada Bus 16

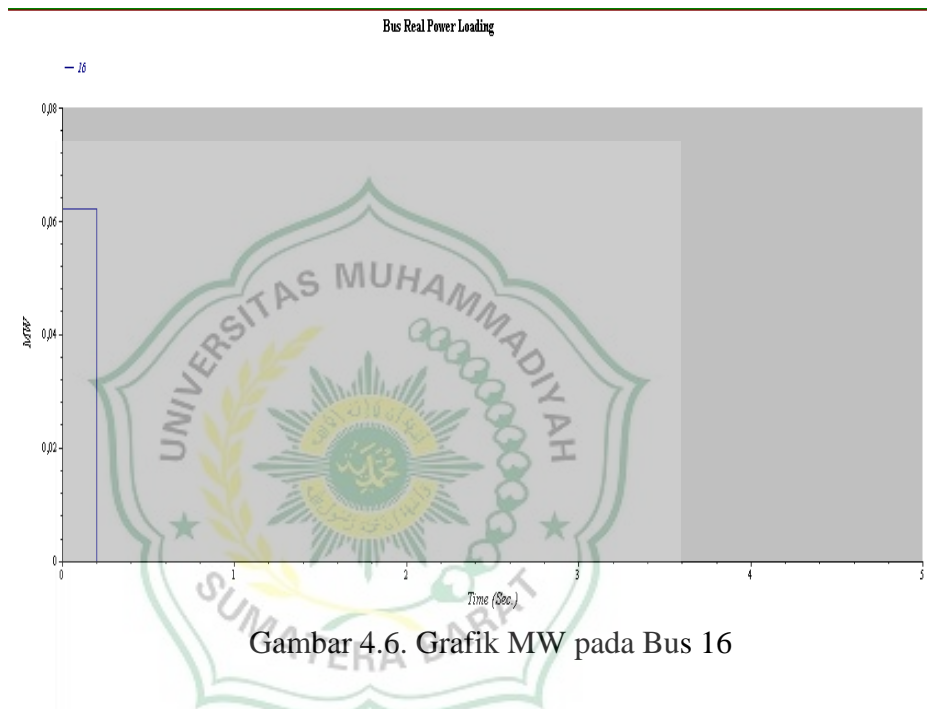
Pada kondisi satu hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 4.1. Menunjukkan profil tegangan pada bus 16 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil tegangan mengalami penurunan tegangan mencapai nilai terendah 8,71% dari tegangan nominalnya. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisir.



Gambar 4.5. Grafik Tegangan pada Bus 16

2 Grafik MW pada Bus 16

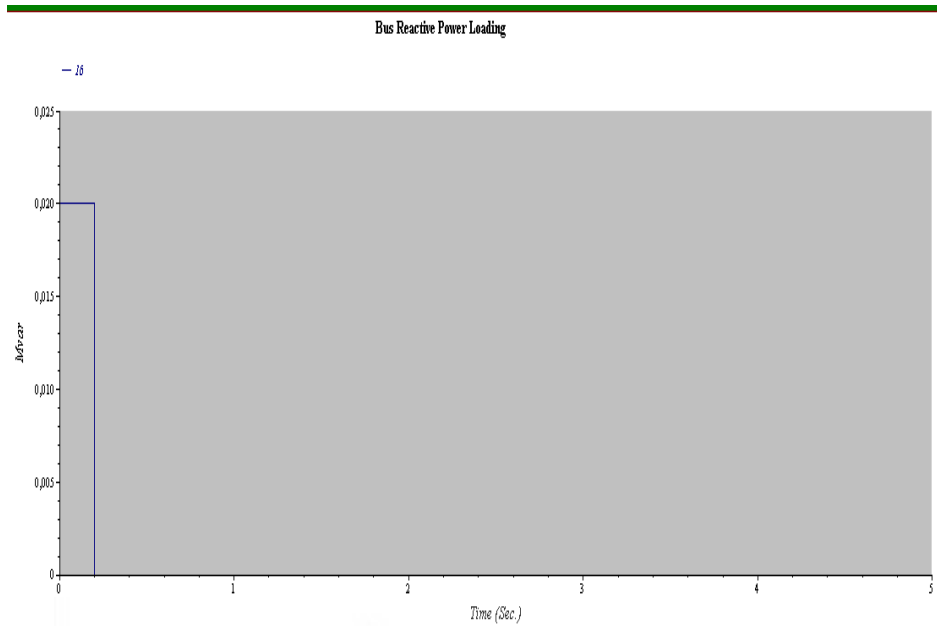
Pada kondisi satu hasil simulasi untuk daya listrik aktif terlihat pada gambar 4.2. Menunjukkan profil daya listrik pada bus 16 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil daya listrik mengalami penurunan mencapai nilai terendah hingga ke titik nol. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisasi.



Gambar 4.6. Grafik MW pada Bus 16

3 Grafik MVAr pada Bus 16

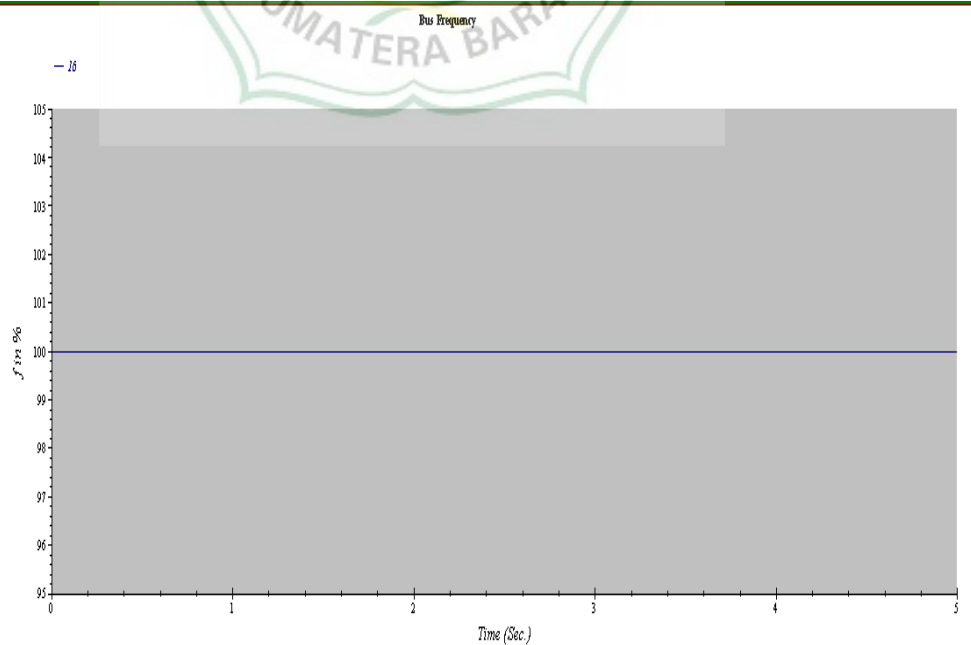
Pada kondisi satu hasil simulasi untuk daya listrik reaktif terlihat pada gambar 4.3. Menunjukkan profil daya listrik pada bus 16 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil daya listrik reaktif mengalami penurunan mencapai nilai terendah hingga ke titik nol. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisasi.



Gambar 4.7. Grafik MVA_r pada Bus 16

4 Grafik Frekuensi pada Bus 16

Pada kondisi satu hasil simulasi untuk Frekuensi terlihat pada gambar 4.4. Menunjukkan frekuensi listrik pada bus 16 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat frekuensi daya listrik tidak mengalami gangguan atau tetap pada angka 100 %.

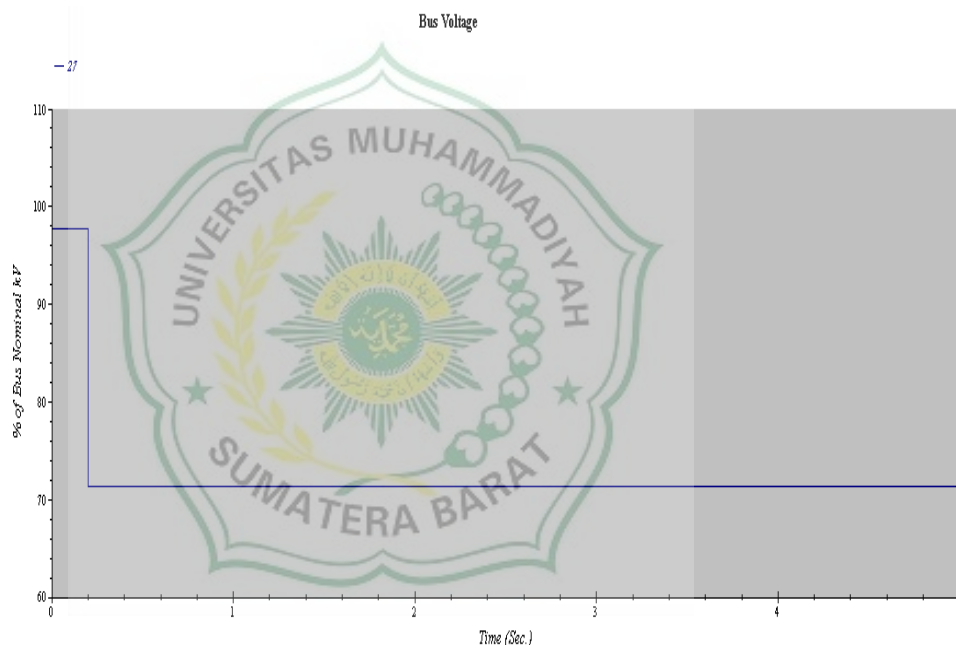


Gambar 4.8. Grafik Frekuensi pada Bus 16

4.3.2 Analisa Stabilitas Transien Pemasangan Satu Distributed Generation Pada Bus 27

1 Grafik Tegangan Pada Bus 27

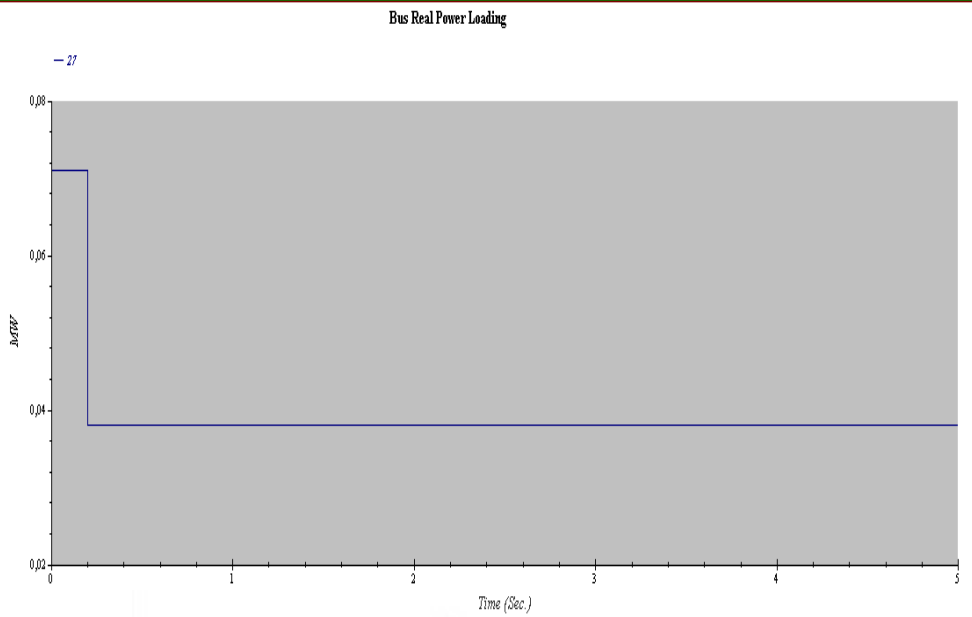
Pada kondisi dua hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 4.5. Menunjukkan profil tegangan pada bus 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil tegangan mengalami penurunan tegangan mencapai nilai terendah 71,37% dari tegangan nominalnya. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisir.



Gambar 4.9. Grafik tegangan pada Bus 27

2 Grafik MW pada bus 27

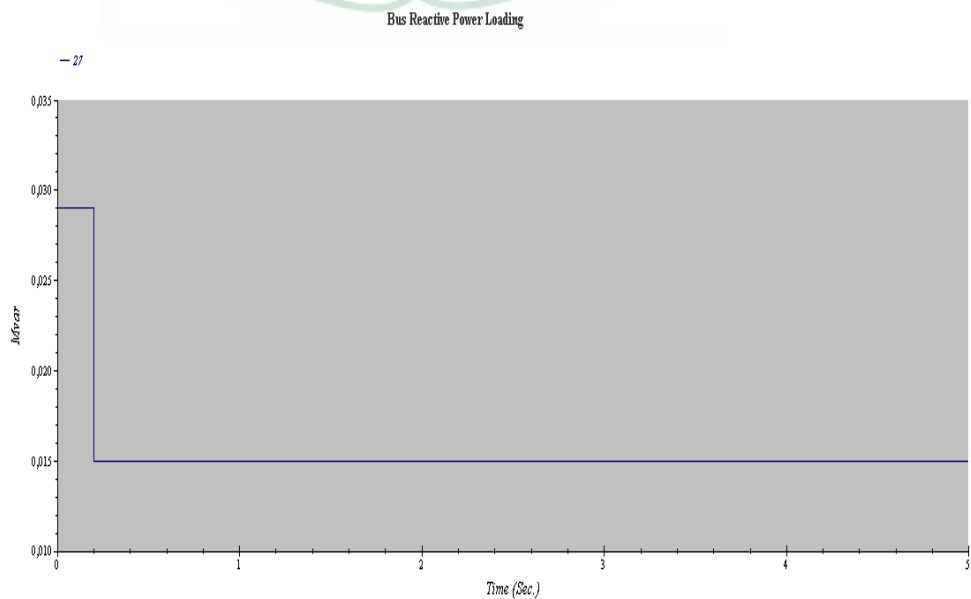
Pada kondisi dua hasil simulasi untuk daya listrik aktif terlihat pada gambar 4.6. Menunjukkan profil daya listrik pada bus 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil daya listrik mengalami penurunan mencapai nilai 0,03 Mw. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisir.



Gambar 4.10. Grafik MW pada Bus 27

3 Grafik MVAR Pada Bus 27

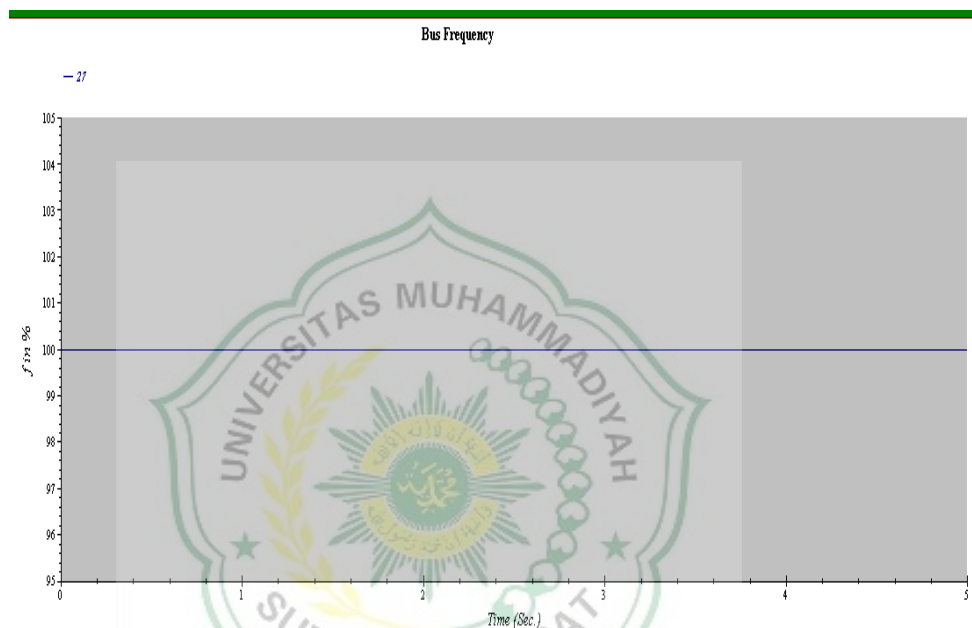
Pada kondisi dua hasil simulasi untuk daya listrik reaktif terlihat pada gambar 4.7. Menunjukkan profil daya listrik pada bus 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil daya listrik reaktif mengalami penurunan mencapai nilai terendah 0,015 Mvar. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisasi.



Gambar 4.11. Grafik Mvar pada Bus 27

4 Grafik Frekuensi pada Bus 27

Pada kondisi dua hasil simulasi untuk Frekuensi terlihat pada gambar 4.8. Menunjukkan frekuensi listrik pada bus 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat frekuensi listrik tidak mengalami gangguan atau tetap pada angka 100 %.

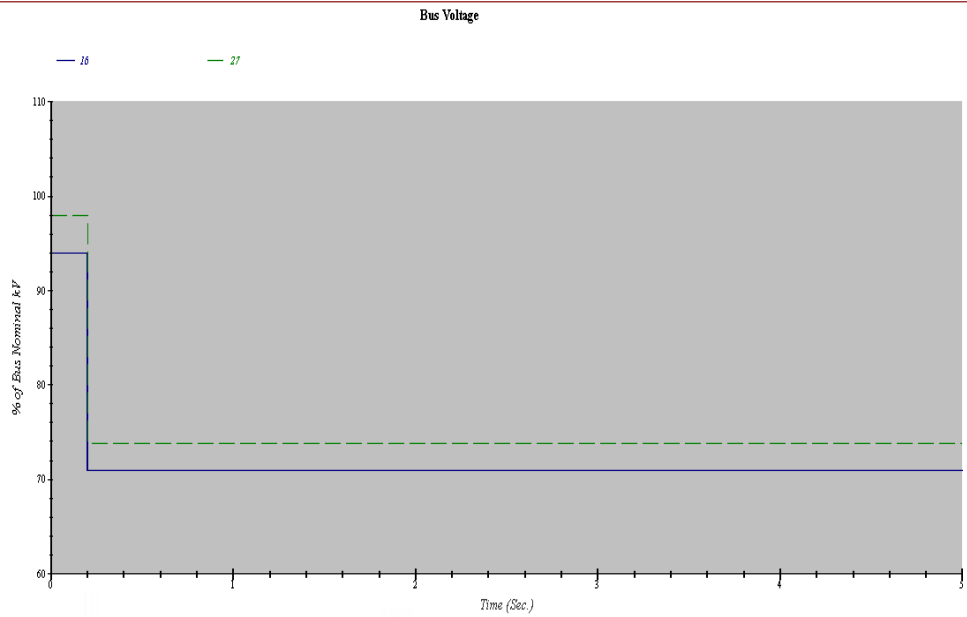


Gambar 4.12. Grafik frekuensi pada Bus 27

4.3.3 Stabilitas Transien Pemasangan Dua Distributet Generation Pada Bus 16 dan 27

1 Grafik Tegangan pada Bus 16 dan 27

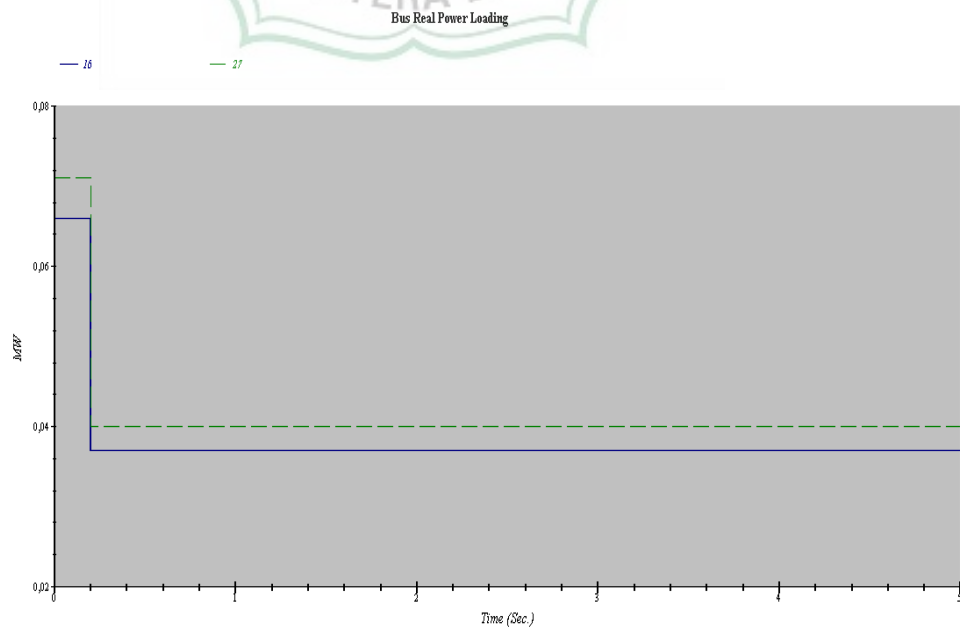
Pada kondisi tiga hasil simulasi untuk tegangan terlihat pada gambar 4.9. Menunjukkan profil tegangan pada bus 16 dan 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil tegangan mengalami penurunan tegangan mencapai nilai 70,89% pada bus 16 dan 73,74 % pada bus 27 dari tegangan nominalnya. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisir.



Gambar 4.13. Grafik tegangan pada Bus 16 dan 27

2 Grafik MW pada Bus 16 dan 27

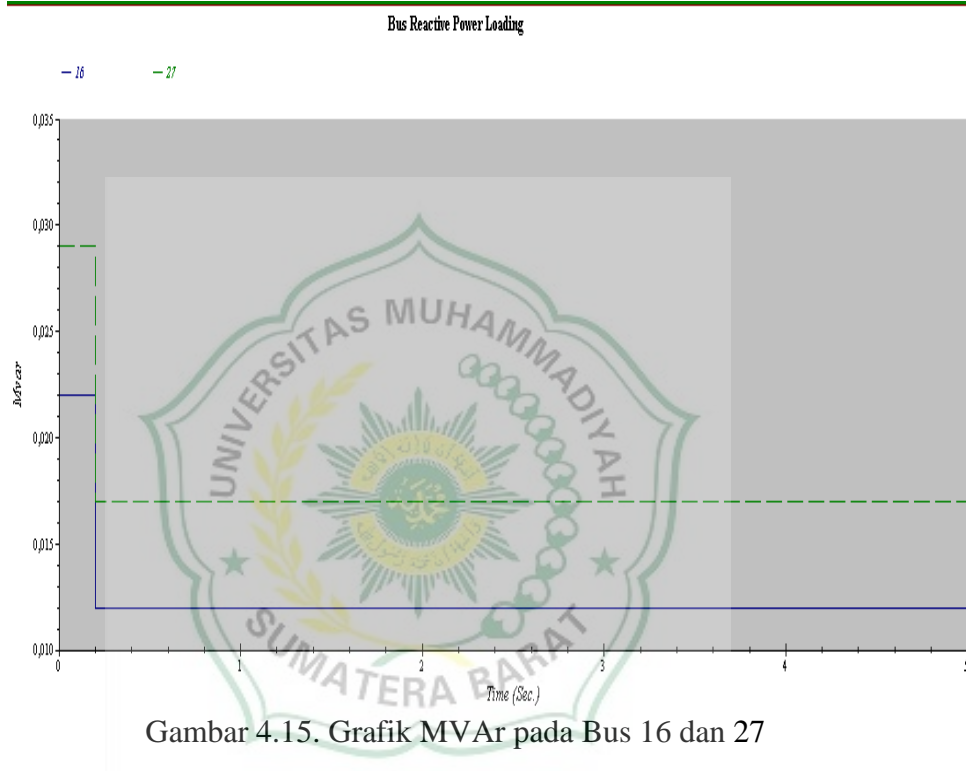
Pada kondisi tiga hasil simulasi untuk daya listrik aktif terlihat pada gambar 4.10. Menunjukkan profil daya listrik pada bus 16 dan 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil daya listrik mengalami penurunan mencapai nilai 0,03 MW pada bus 16 dan 0,04 MW pada bus 27. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisir.



Gambar 4.14. Grafik MW pada Bus 16 dan 27

3 Grafik MVA_r pada Bus 16 dan 27

Pada kondisi tiga hasil simulasi untuk daya listrik reaktif terlihat pada gambar 4.11. Menunjukkan profil daya listrik pada bus 16 dan 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat profil daya listrik reaktif mengalami penurunan mencapai nilai terendah 0,012 MVA_r pada bus 16 dan 0,016 MVA_r pada bus 27. dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum dilokalisasi.

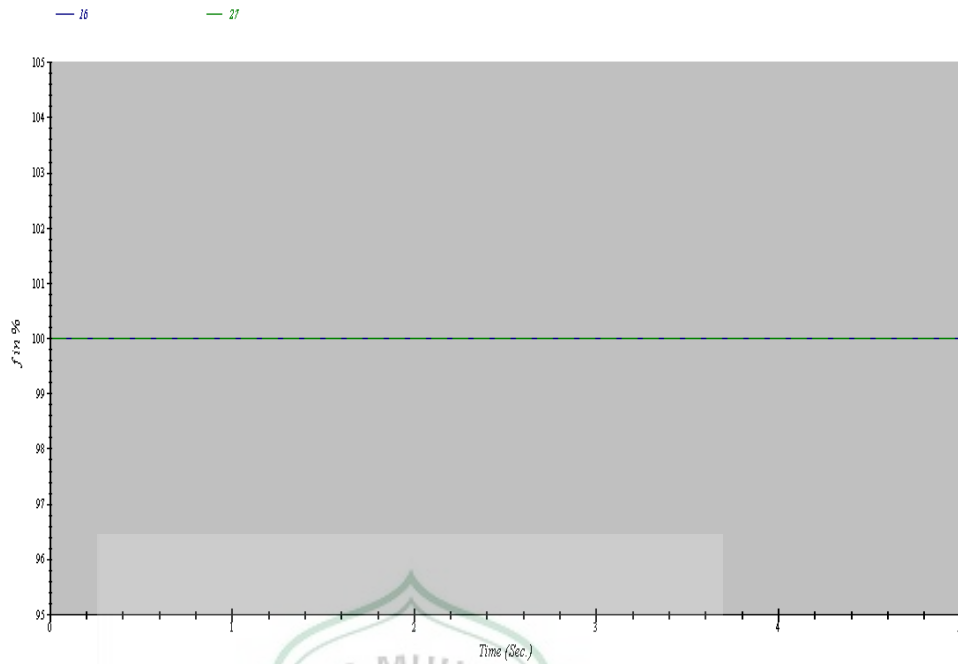


Gambar 4.15. Grafik MVA_r pada Bus 16 dan 27

4 Grafik Frekuensi pada Bus 16 dan 27

Pada kondisi tiga hasil simulasi untuk Frekuensi terlihat pada gambar 4.12. Menunjukkan frekuensi listrik pada bus 16 dan 27 yang mengalami gangguan sumber mati pada waktu = 0,2 detik, terlihat frekuensi listrik tidak mengalami gangguan atau tetap pada angka 100%.

Bus Frequency



Gambar 4.16. Grafik frekuensi pada Bus 16 dan 27

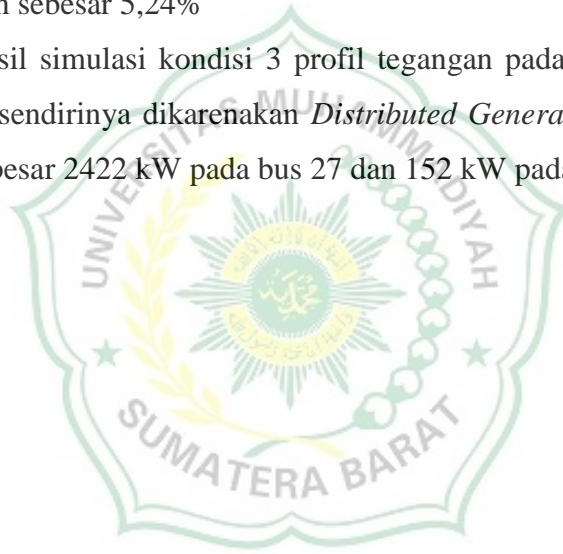


BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Hasil simulasi dan analisa yang telah di lakukan pada bab 4, maka dapat di ambil beberapa pembasahan kesimpulan sebagai berikut;

1. Setelah dilakukan pemasangan satu *Distributed Generation*, dan dua *Distributed Generation* menunjukkan hasil bahwa tegangan mengalami perbaikan tegangan pada sistem
2. Pada hasil simulasi kondisi 1 profil tegangan masih mengalami drop tegangan sebesar 7,28%
3. Pada hasil Simulasi Kondisi 2 profil tegangan masih mengalami drop tegangan sebesar 5,24%
4. Pada hasil simulasi kondisi 3 profil tegangan pada sistem kembali stabil dengan sendirinya dikarenakan *Distributed Generation* memberikan daya aktif sebesar 2422 kW pada bus 27 dan 152 kW pada bus 16.



5.2 Saran

Dari hasil tugas akhir ini, terdapat berbagai saran untuk membantu pengembangan tugas akhir selanjutnya untuk mencapai hasil yang lebih baik. rekomendasi yang diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut antara lain;

1. Simulasi dan analisis aliran daya dan stabilitas transien pada tugas di akhir ini dapat digunakan sebagai referensi bagi siswa lain yang memiliki masalah yang sama dengan proyek di akhir semester.
2. Informasi yang diperoleh bisa digunakan untuk mengatasi kegagalan pada sistem saat terjadi trouble atau perubahan, seperti hubungan singkat, perubahan tegangan, dan kelebihan beban.
3. Perlu adanya simulasi dan analisa terhadap faktor-faktor lain yang mempengaruhi stabilitas transient..



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hertalina, A. H. (2015). Optimasi Kapasitas Dan Peletakan Pembangkit Tersebar Berdasarkan Stabilitas Tegangan Menggunakan Hps0. *Laporan Tugas Akhir*. Surabaya: Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [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] Jimmy, T. P., Istiqomah, Riki, K., & Agus, D. (2019). Pengaruh Pembangkit Photovoltaic Sebagai Distributed Energy Resour Terhadap Profil Tegangan Dan Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Bantul 05 Yogyakarta. *Sains Dan Teknologi*, Vol.15 (02), hal.72-84.
- [4] Lauhil, M. H., Taufik, H., Choirul, S., I Made, W., & Teguh, H. (2017). Pelatihan Software Etap (Electrical Transient Analyzer Program) Bagi Siswa dan Guru SMK Nasional Malang. *Industri Inovatif*, Vol.7 (1), hal.7 - 11.
- [5] Azhar, A. p. (2015). Analisa Kestabilan Transien pada Jaringan Distribusi IEEE 34 Bus Dengan Adanya Pembangkitan Terdistribusi. *Tugas Akhir*. Surabaya: Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Syafii, & Ricky, M. (2012). Program Aliran Daya untuk Analisis Sistem Distribusi dengan Penambahan Photovoltaic Model. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Vol.1 (1), hal.1-10.
- [7] Hidayatul, J. (2017). Analisa Kestabilan Transien dan Koordinasi Proteksi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 3 Mw yang Terhubung ke Pln 20 kv. *Tugas Akhir*. Surabaya: Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [8] Afriyastuti, H. (2013). Studi Kestabilan Photovoltaic pada Pembangkit Tersebar Berbasis Pembangkit Angin, Photovoltaic dan Pembangkit Diesel Terhadap Gangguan di Sistem Tenaga. *Jurnal Amplifier*, Vol.3 (1), hal.14-20.
- [9] PUJO, S. (2014). Analisis Kestabilan Transien Penerapan Distributed Generation Pada Sistem Kelistrikan Wilayah Bengkulu. *Laporan Skripsi*. Bengkulu: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bengkulu.



LAMPIRAN