

TUGAS AKHIR

Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis *Software* ETAP 2019

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

Mhd Arjuna Satria Kirana

1907220038



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mhd Arjuna Satria Kirana
NPM : 1907220038
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton
Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara
Berbasis Software ETAP 2019
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 7 Oktober 2023

Mengetahui dan menyetujui:

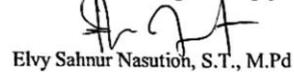
Dosen Pembimbing I/ Penguji


Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji


Faisal Ihsan Pasaribu, S.T.

Dosen Pembanding II / Penguji


Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd



Ketua Program Studi Teknik Elektro

Faisal Ihsan Pasaribu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Mhd Arjuna Satria Kirana
Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 23 Mei 2001
NPM : 1907220038
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis Software ETAP 2019”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 7 Oktober 2023

Saya yang menyatakan



Mhd Arjuna Satria Kirana

ABSTRAK

Studi analisis aliran daya bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai aliran daya dan atau tegangan pada suatu jaringan sistem jaringan listrik. Manfaat dari analisis aliran daya listrik adalah untuk mengetahui kondisi keseluruhan dari suatu sistem tenaga listrik. Perhitungan aliran daya saat ini telah banyak menggunakan aplikasi komputer. Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, sudut fasa, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal. Ada 3 metode dalam analisis aliran daya yaitu, metode Newton Raphson, metode Gauss-Seidel dan metode *Fast Decoupled*. Dalam penelitian ini, analisis yang akan dilakukan terdapat 34 bus, 19 pembangkit, 55 saluran transmisi dan 28 beban yang dianalisa dengan menggunakan ETAP 2019 dengan perhitungan metode Newton Raphson. Metode Newton Raphson dianggap efektif dan menguntungkan untuk sistem jaringan yang besar serta dengan konvergensi lebih cepat dan dengan iterasi sedikit lebih dapat diandalkan dari pada metode lain. Hasil dari analisa yang didapat bahwa terdapat 4 pembangkit yang *overload*, diantaranya PLTD Titi Kuning, PLTD Glugur, PLTG Paya Pasir, PLTP Sibayak dan pembangkit yang *underpower* dikarenakan kekurangan pasokan daya dari pembangkit yang lain. Terdapat juga bus yang *overvoltage* dikarenakan perubahan beban yang mendadak. Dengan iterasi sebanyak 4 dan perhitungan metode Newton Raphson, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada jaringan transmisi unit 1 Medan sebesar 1450,601 MW dan 899,002 Mvar dari Bus Batu Gingging - Bus Wampu.

Kata Kunci: ETAP, Aliran Daya, Daya Aktif, Daya Reaktif, Newton Raphson

ABSTRACT

Power flow analysis studies aim to obtain information regarding power flow and/or voltage in an electrical network system. The benefit of electrical power flow analysis is to determine the overall condition of an electric power system. Power flow calculations currently use many computer applications. Power flow studies are the determination or calculation of voltage, current, phase angle, active power and reactive power found at various points in the electrical network under normal operating conditions. There are 3 methods in power flow analysis, namely, the Newton Raphson method, the Gauss-Seidel method and the Fast Decoupled method. In this research, the analysis that will be carried out includes 34 buses, 19 generators, 55 transmission lines and 28 loads which will be analyzed using ETAP 2019 with Newton Raphson method calculations. The Newton Raphson method is considered effective and profitable for large network systems and with faster convergence and slightly more reliable iteration than other methods. The results of the analysis show that there are 4 generators that are overloaded, including PLTD Titi Kuning, PLTD Glugur, PLTG Paya Pasir, Sibayak PLTP and power plants are underpowered due to a lack of power supply from other power plants. There are also buses that overvoltage due to sudden changes in load. With 4 iterations and Newton Raphson method calculations, the active power and reactive power flowing in the Medan unit 1 transmission network is 1450,601 MW and 899,002 Mvar from the Batu Gingging Bus - Wampu Bus.

Keywords: *ETAP, Load Flow, Active Power, Reactive Power, Newton Raphson*

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis *Software* ETAP 2019”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Ayahanda tercinta Alm. Nurgono, Ibunda tercinta Syafitri Nasution dan serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Ade Faisal, M.Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Ibu Rimbawati, S.T., M.T. selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

9. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin khususnya kelas A1 Pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
10. Seluruh Staff Tata Usaha di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin.

Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 22 September 2023

Mhd Arjuna Satria Kirana

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	4
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Studi Aliran Daya	7
2.2.2 Klasifikasi Sistem Aliran Daya.....	9
2.2.3 Representasi Transformator	9
2.2.4 Representasi Generator	9
2.2.5 Representasi Bus (<i>Busbar</i>).....	10
2.2.6 Representasi Kapasitor Bank	11
2.2.7 Representasi Beban.....	11
2.2.8 Saluran Transmisi	12
2.2.9 Metode Newton Raphson.....	12
2.2.10 Metode Gauss Seidel	15
2.2.11 Metode <i>Fast Decoupled</i>	16
2.2.12 ETAP	19
2.2.13 <i>Single Line Diagram</i>	23
2.2.14 Langkah – Langkah Menggambar <i>Single Line Diagram</i>	24
2.2.15 Rangkaian Percobaan.....	27
2.2.16 Elemen - Elemen Pada ETAP 2019	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Tempat dan Waktu	30
3.2 Peralatan Penelitian	30

3.3	Metode Pengumpulan Data	30
3.4	Sumber Data Penelitian	30
3.4.1	Data <i>Busbar</i> Sumatera Utara Tahun 2023	31
3.4.2	Data Pembangkitan Sumatera Utara Tahun 2023	32
3.4.3	Data Saluran & Data Reaktansi Saluran	32
3.4.4	Data Jarak Transmisi Sumatera Utara Tahun 2023	34
3.4.5	Data Pembebanan Sumatera Utara Tahun 2023	35
3.5	Flowchart Penelitian	37
BAB 4	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Hasil Simulasi Aliran Daya Dengan <i>Software</i> ETAP 2019	38
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Busbar Sumatera Utara Tahun 2023.....	31
Tabel 3. 2 Data Pembangkitan Sumatera Utara Tahun 2023	32
Tabel 3. 3 Data Saluran & Reaktansi Saluran Sumatera Utara Tahun 2023.....	32
Tabel 3. 4 Data Jarak Transmisi Sumatera Utara Tahun 2023	34
Tabel 3. 5 Data Pembebanan Sumatera Utara Tahun 2023	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gambar Distribusi Listrik.....	8
Gambar 2. 2 Gambar Diagram Satu Garis	8
Gambar 2. 3 Halaman Awal ETAP 2019.....	25
Gambar 2. 4 Gambar Menu File dan New Project ETAP 2019.....	25
Gambar 2. 5 Gambar Creat New Project Pada ETAP 2019.....	26
Gambar 2. 6 Gambar User Information Pada ETAP 2019.....	26
Gambar 2. 7 Gambar Access Level Pada ETAP 2019.....	27
Gambar 2. 8 Gambar Lembar Kerja Pada ETAP 2019	27
Gambar 2. 9 Gambar Rangkaian Percobaan Sederhana.....	28
Gambar 2. 10 Hasil Running Rangkaian Percobaan Sederhana	28
Gambar 2. 11 Elemen Standar IEC	28
Gambar 2. 12 Simbol Generator di ETAP	29
Gambar 2. 13 Simbol Busbar di ETAP	29
Gambar 2. 14 Simbol Transformator di ETAP	29
Gambar 2. 15 Simbol Beban di ETAP	29
Gambar 2. 16 Simbol Transmisi di ETAP	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 4. 1 Gambar One Line Diagram Sistem Tenaga Listrik Transmisi Unit 1 Medan.....	39
Gambar 4. 2 Gambar One Line Diagram (Running) Sistem Tenaga Listrik Transmisi Unit 1 Medan.....	41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Studi aliran daya adalah suatu studi yang digunakan guna memperoleh informasi tentang aliran daya dan tegangan sistem pada saat kondisi operasi sedang stabil. Analisa yang digunakan untuk menghitung dan menentukan tegangan, arus, daya dan faktor daya atau daya reaktif pada suatu jaringan listrik disaat kondisi normal dan stabil. Informasi ini diperlukan guna menguji adanya kinerja sistem tenaga dan menganalisa kondisi suatu beban dan pembangkitan.

Saat ini wilayah Sumatera terdiri dari Sistem Interkoneksi Sumatera dan sistem-sistem isolated. Sebagian besar sistem *isolated* berada di kepulauan dan sebagian lokasinya sangat jauh di Pulau Sumatera. Permasalahan jangka pendek yang perlu diselesaikan di sistem *isolated* secara umum adalah memenuhi kekurangan pasokan daya atau cadangan daya di beberapa sistem, menggantikan pembangkit *existing* yang tidak efisien, menaikkan rasio elektrifikasi dan meningkatkan kemampuan pasokan daya untuk daerah perbatasan serta pulau terluar. Saat ini sistem Sumatera telah terinterkoneksi melalui *backbone* 275 kV (PLN, n.d.).

Saat ini permasalahan yang terjadi di Sistem Sumatera saat ini adalah fleksibilitas operasi yang belum mampu optimum terutama saat kondisi di luar waktu beban puncak (LWBP). Beberapa kontrak gas yang sedang berjalan saat ini masih dibatasi minimum penggunaan gas harian, sehingga fleksibilitas operasi pembangkit menjadi terbatas dan merit order sistem menjadi tidak optimum. Terkait hal tersebut maka sedang diupayakan untuk menyesuaikan kontrak gas menjadi *multi destination* (beberapa kontrak gas dengan *supplier* yang sama digabungkan) sehingga pengatuan minimum operasi pembangkit gas bisa lebih fleksibel. Dan untuk kedepannya kita juga belum mengetahui kapasitas dari prediksi kebutuhan beban di Sumatera Utara untuk pengembangan.(PLN, n.d.)

Untuk menyelesaikan studi permasalahan aliran daya yang sebenarnya diimplementasikan menggunakan *software* penganalisis transien listrik *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) versi 2019. Ada beberapa metode yang dapat digunakan yaitu metode Newton Raphson, Gauss Seidel, dan *Fast*

Decoupled. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah metode Newton Raphson. Metode

Newton Raphson adalah metode yang sangat sering digunakan untuk menyelesaikan suatu sistem persamaan non linier, metode Newton Raphson menggunakan teknik iteratif. Teknik iteratif ini merupakan pencarian solusi yang dimulai dengan estimasi awal untuk variabel yang ingin dicari. Estimasi tersebut kemudian diperbaiki secara berurutan sampai solusi yang diinginkan diperoleh. Apabila solusinya telah didapat, maka dikatakan bahwa solusinya telah konvergen. Dengan menggunakan metode Newton Raphson diharapkan dapat melakukan perhitungan numerik dari sistem daya terintegrasi besar dengan cepat.(Darmawan et al., 2019)

Maka dari itu penulis mengangkat penelitian yang berjudul “Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis *Software* Etap 2019”.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana sistem pembangkitan di wilayah Sumatera Bagian Utara dalam memenuhi kebutuhan beban?
- 2) Berapa besar daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus pada sistem kelistrikan di Sumatera Bagian Utara menggunakan metode Newton Raphson?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

- 1) Untuk mengetahui kondisi aliran beban pada sistem tenaga listrik di wilayah Sumbagut.
- 2) Untuk mengetahui berapa besar daya aktif dan daya reaktif sistem kelistrikan di Sumatera Bagian Utara menggunakan metode Newton Raphson.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Mengingat luasnya permasalahan, dalam laporan ini penulis merasa perlu membatasi masalah yang akan di bahas. Mengingat kemampuan, pengalaman serta keterbatasan waktu dan tempat.

Maka ada hal-hal tertentu yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Analisa aliran beban menggunakan data yang telah diperoleh dari tahun 2023
- 2) Perangkat lunak yang digunakan adalah ETAP 2019
- 3) Data diambil dari PLN wilayah Sumatera Bagian Utara
- 4) Metode yang digunakan pada *software* ETAP 2019 dengan perhitungan metode Newton Raphson

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin diperoleh yaitu:

1. Dapat dimanfaatkan sebagai referensi analisis aliran beban untuk penelitian selanjutnya
2. Menambah referensi pada bidang elektro, khususnya pada bidang sistem tenaga listrik

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Saat ini kebutuhan beban yang semakin lama semakin meningkat, listrik diperlukan untuk memenuhi persyaratan beban. Dari studi aliran beban, kita dapat memperoleh beberapa informasi tentang tegangan bus dan cabang, daya aktif dan daya reaktif, rugi-rugi pada trafo, konduktor, kabel dan semua sistem dari gardu induk. Studi yang sangat diperlukan dalam sistem tenaga listrik untuk menangani permasalahan aliran beban dengan data yang terdapat pada gardu induk. Etap adalah perangkat lunak yang digunakan dalam memecahkan berbagai permasalahan aliran beban. (Zeggai & Benhamida, 2019)

Analisis aliran beban sangatlah penting untuk menyelidiki berbagai masalah keandalan dari sistem. Kajian ini bersifat komprehensif, analisis menggunakan *software* ETAP (Komputasi Numerik Umum Sistem Terintegrasi Skala) dengan kecepatan sangat tinggi. Analisis aliran beban berdasarkan metode atau algoritma seperti Newton-Raphson, dengan konvergensi lebih cepat dan dengan iterasi sedikit lebih dapat diandalkan daripada metode lain. (Mumtaz et al., 2018)

Perhitungan aliran daya merupakan suatu alat bantu yang sangat penting untuk mengetahui kondisi operasi sistem. Perhitungan aliran daya pada tegangan, arus dan faktor daya di berbagai simpul suatu jaringan listrik dilakukan pada keadaan operasi normal. Hasil perhitungan aliran daya ini kemudian digunakan untuk mensimulasi kondisi gangguan yang besar, stabilitas transien maupun analisa kontigensi yaitu analisa keadaan dimana sebagian komponen sistem tidak terhubung ke sistem dengan baik. (Hasibuan et al., 2020)

Kajian ini menerangkan analisa aliran beban dan evaluasi keandalan sistem tenaga di Sumatera Bagian Utara. Studi ini penting untuk merencanakan ekspansi di masa yang akan datang dalam menentukan sistem kelistrikan dan pengoperasian yang optimal dari sistem yang ada dan di sini salah satu metode yang digunakan adalah metode Newton Raphson. Data utama yang diperoleh dari analisis aliran beban adalah besar dan sudut fasa dari tegangan di setiap bus, daya nyata dan daya reaktif mengalir di setiap jalur. Diagram garis tunggal dibentuk

menggunakan program perangkat lunak *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). Beberapa keandalan indeks yang di peroleh dapat digunakan sebagai tolak ukur keandalan sistem. (Jaleel & Shabna, 2013)

Aliran beban merupakan salah satu bagian yang sangat penting untuk dipelajari dan dianalisis dalam pengoperasian sistem tenaga listrik. Dalam penelitian ini rincian studi untuk menganalisis aliran beban dalam sistem tenaga terdistribusi disajikan. Pemodelan dan studi kasus simulasi jaringan distribusi daya aktif dan daya reaktif dilakukan dengan perangkat lunak program *Electrical Transient Analysis Program* (ETAP). Selanjutnya, perbandingan teknik aliran beban umum distribusi daya disajikan. Dalam penilaian ini, metode numerik yang digunakan adalah metode Newton-Raphson. Kajian ini berfokus pada penilaian rinci dan pemantauan dengan menggunakan *software* ETAP paling modern. Efisiensi aliran beban diperlihatkan sesuai dengan hasil simulasi yang diperoleh dengan ETAP dengan menerapkannya pada sistem tenaga terdistribusi. (Ghiasi, 2018)

Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik merupakan analisis yang mengungkapkan kinerja suatu sistem tenaga listrik dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja. Hasil utama dari aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap saluran (bus), daya nyata dan daya reaktif yang ada pada setiap saluran. Hasil analisis aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui besarnya losses (rugi daya dan tegangan), alokasi daya reaktif dan kemampuan sistem untuk memenuhi pertumbuhan beban. (Nigara & Primadiyono, 2015)

Sistem tenaga listrik menyuplai layanan penting bagi masyarakat. Agar pembangkit dapat beroperasi secara normal, transmisi dan distribusi, sistem itu memerlukan keseimbangan. Aliran beban adalah suatu syarat dasar untuk melakukan analisis sistem tenaga dari sistem apa pun. Aliran beban memberi kita informasi tentang tegangan, daya nyata dan daya reaktif yang dihasilkan dan diserap dari garis kerugian di seluruh sistem. Analisa dilakukan dengan menggunakan *software advance Program Penganalisis Transient Listrik* (ETAP) dengan detail analisa aliran beban. (Patil Electrical & Namekar, 2018)

Hasil analisis aliran daya dapat digunakan untuk keperluan operasional untuk mengevaluasi keadaan operasional yang berbeda dari sistem yang ada. Penelitian ini membahas analisis jaringan distribusi listrik di wilayah Sumatera Bagian Utara dengan menggunakan perangkat lunak ETAP. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar daya aktif dan daya reaktif sistem kelistrikan di wilayah Sumatera Bagian Utara. Masalah dan tantangan yang dihadapi oleh jaringan yang ada juga dianalisis. (Mahdi, 2013)

Analisis aliran daya dalam sistem kelistrikan adalah analisis yang mengungkapkan suatu kinerja dan aliran daya (aktif dan reaktif) sistem kelistrikan dalam kondisi tertentu selama sistem beroperasi. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 19, dengan metode Newton Raphson dan mengambil studi kasus kondisi normal. Untuk data tegangan, diambil dari data PLN wilayah 1 Sumatera Bagian Utara. (Djalal et al., 2021)

Daya sangat diperlukan untuk pembangunan negara manapun. Untuk mempertahankan pembangkit tenaga listrik pada tingkat yang stabil, harus ditransmisikan dalam bentuk yang jitu dan berkualitas kepada konsumen. Makalah penelitian ini membahas daya aktif dan daya reaktif di Bidang Kelistrikan Transient Analyzer Program (ETAP) dengan detail analisis aliran beban. (Kapahi, 2017)

Penelitian ini mengkaji analisis aliran beban pada gardu induk tegangan tinggi dengan menggunakan ETAP. Penelitian ini memberikan serangkaian informasi penting tentang sistem seperti penurunan tegangan di tiap saluran suplai, tegangan di tiap bus dan rugi daya aktif dan daya reaktif di berbagai pengumpuan dan saluran suplai. Penelitian ini meneliti analisis aliran beban gardu induk tegangan tinggi menggunakan ETAP. Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan perangkat lunak ETAP untuk meneliti aliran daya pada pengoperasian gardu induk. (Zaka, 2022)

Pasokan listrik berkualitas tinggi yang stabil sangat diperlukan untuk perkembangan dan pertumbuhan kondisi ekonomi dan sosial dalam suatu negara. Hambatan utama untuk mencapai tujuan ini adalah fluktuasi tegangan jaringan. Beban yang terhubung dalam sistem dapat berubah dari waktu ke waktu, menyebabkan fluktuasi tegangan bus. Analisis arus beban memberikan data

karakteristik yang stabil dan menghasilkan laporan tentang level tegangan, sudut fasa, aliran daya aktif dan reaktif, kerugian jaringan, dan lain lain. Dengan ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) dapat diperoleh hasil *Load Flow Analysis* (LFA) yang akurat dan sangat handal. Pada penelitian ini, perangkat lunak ETAP dengan metode adaptif Newton-Raphson.(Chowdhury et al., 2021)

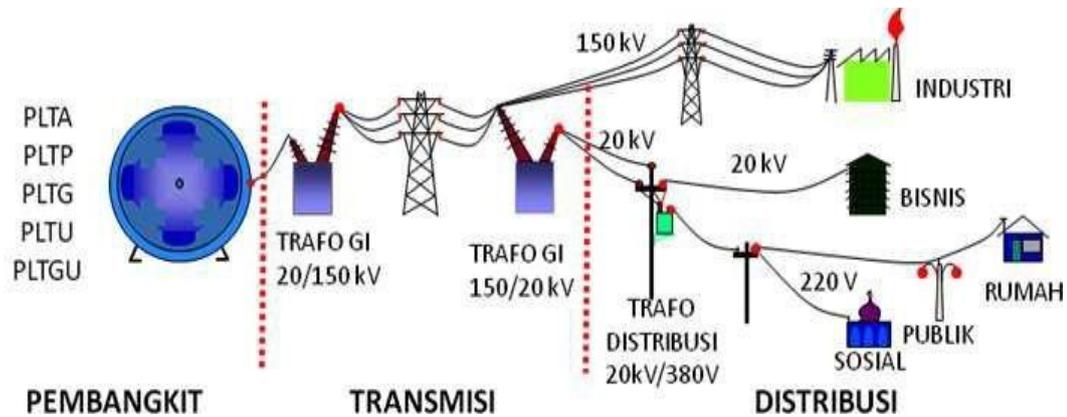
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu tatkala sistem bekerja saat tunak (*steady state*). Studi aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive power*) di berbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal. Studi aliran daya merupakan studi yang penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem di masa-masa yang akan datang. Seiring dengan bertambahnya konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi.

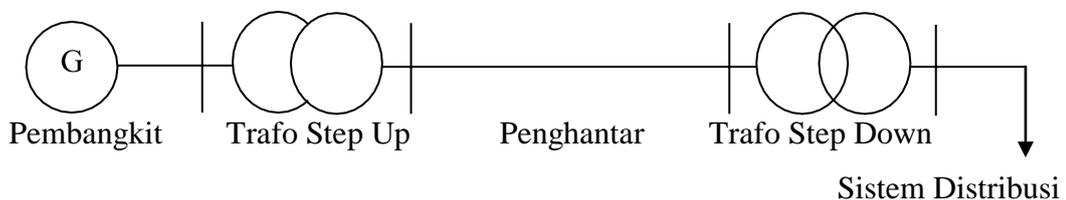
Pada umumnya, perhitungan aliran daya diasumsikan sistem dalam keadaan seimbang. Data dan informasi yang didapatkan berguna dalam merencanakan perluasan sistem tenaga listrik dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem jaringan kelistrikan. Perencanaan sistem aliran daya listrik industri meliputi beban terpasang dan beban operasi pada industri tersebut, sehingga dapat diperhitungkan besarnya daya pada transformator yang dibutuhkan, jadi dengan perencanaan yang baik dan matang maka aliran daya listrik pada sistem tersebut dapat sesuai dengan kebutuhan pemakaian energi listrik, serta mengurangi terjadinya *losses*. Menentukan perencanaan operasi terbaik dari sistem aliran daya listrik meliputi pengontrolan alokasi daya reaktif yang optimal.

Studi aliran daya membutuhkan parameter-parameter dengan besaran yang dalam keadaan tetap (stabil). Beban yang berupa mesin-mesin yang tidak berputar, kecil pengaruhnya terhadap arus saluran pada waktu terjadinya gangguan, oleh karena itu biasanya diabaikan. Beban yang berupa motor serempak selalu dimasukkan dalam perhitungan aliran daya listrik. Berdasarkan beban yang bekerja dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu; beban statis (*static load*) dan beban campuran antara beban motor dan beban statis (*lumped load*).



Gambar 2. 1 Gambar Distribusi Listrik

Komponen dasar yang membentuk suatu sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi dan beban. Untuk keperluan analisis sistem tenaga, diperlukan suatu diagram yang dapat mewakili setiap komponen sistem tenaga listrik tersebut. Diagram yang sering digunakan adalah diagram satu garis dan diagram impedansi atau diagram reaktansi.



Gambar 2. 2 Gambar Diagram Satu Garis

Konsep perhitungan *Load Flow* atau aliran daya dalam dilakukannya studi atau analisa aliran listrik adalah menghitung faktor - faktor dasar pada sistem tenaga listrik seperti, besar beda potensial dan sudut fasa tegangan ϕ . Perhitungan Aliran daya juga menjadi salah satu proses dilakukannya perhitungan terhadap besarnya daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) di dalam setiap bagian terutama yang

menjadi komponen utama dalam sistem pendistribusian daya listrik dalam sistem tenaga listrik, tak lupa juga berdasarkan dilakukannya perhitungan daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) juga dapat dilakukan Analisa terhadap Jatuh tegangan dan Rugi Rugi daya pada sistem baik pembangkitan maupun beban.(Faruq et al., 2021)

2.2.2 Klasifikasi Sistem Aliran Daya

Klasifikasi sistem aliran daya dibagi dalam beberapa bagian, antara lain :

2.2.3 Representasi Transformator

Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan primer 20 kV (dari PLN) menjadi tegangan sekunder 380/220 V. Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi
- c. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan)

Transformator direpresentasikan sebagai resistansi R dan reaktansi bocor X , karena R dan X akan mempunyai nilai persatuan yang sama baik pada sisi tegangan rendah maupun sisi tegangan tinggi pada transformator.

2.2.4 Representasi Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Meskipun generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui

sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimanfaatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.

Generator dalam dunia industri biasanya digunakan sebagai sumber energi cadangan (pembangkit listrik pabrik) jika terjadi pemadaman dari PLN sehingga proses produksi tetap berjalan. Tidak hanya sebagai sumber energi cadangan, dalam industri yang berskala besar pembangkitan listrik melalui generator menjadi pilihan sumber listrik utama dalam pabrik sehingga dapat menghemat biaya konsumsi listrik.

2.2.5 Representasi Bus (*Busbar*)

Busbar adalah suatu penghantar impedansi rendah dimana beberapa sirkuit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka tiga *busbar* fasa dan satu netral.

Busbar pada dasarnya merupakan ril penghubung dua atau lebih rangkaian listrik. *Busbar* dapat disebut ril penghubung rangkaian. Semua generator atau sumber listrik dalam pusat tenaga listrik disalurkan melalui bus atau ke ril pusat listrik. Dalam sistem tenaga listrik terdapat jenis-jenis bus yaitu :

a. Bus Beban

Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut dengan *loadbus*. Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui sehingga sering disebut bus PQ. Daya aktif dan daya reaktif yang disuplay kedalam sistem tenaga listrik adalah mempunyai nilai positif, sementara daya aktif dan daya reaktif yang dikonsumsi bernilai negative.

b. Bus Generator

Bus generator dapat disebut juga dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus selalu dibuat konstan. Setiap bus generator memiliki daya Mega Watt yang dapat diatur melalui *prime mover* (penggerak mula dan besaran tegangan yang dapat diatur melalui arus eksitasi generator sehingga bus ini sering juga disebut PV bus. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah P dan Q.

c. Bus Berayun (*Swing Bus* atau *Slack Bus*)

Suatu sistem tenaga biasanya didesain untuk memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi. Besaran yang dapat diketahui dari bus ini adalah

tegangan dan sudut beban. Sedangkan besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif dan daya reaktif.

d. Bus Tunggal (*Single Bus*)

Bus tunggal adalah susunan bus yang paling sederhana dan paling murah. Keandalan serta fleksibilitas operasinya sangat terbatas. Apabila ada kerusakan pada bus ini maka seluruh pusat listrik harus dipadamkan untuk dapat melakukan perbaikan. Oleh sebab itu bus tunggal sebaiknya hanya digunakan pada pusat listrik yang tidak terlalu vital peranannya dalam sistem jaringan kelistrikan.

e. Bus Ganda (*Multiple Bus*)

Multiple bus adalah suatu bus yang terdiri dari dua, tiga atau empat bus dalam saluran.

f. Bus Gelang (*Ring Bus*)

Ring bus hanya memerlukan ruangan yang kecil dan baik untuk pemutusan sebagai bagian dari pelayanan dan pemeriksaan pemutus beban. Sistem ini jarang dipakai karena mempunyai kelemahan dari segi operasi yakni bus ini tidak begitu leluasa seperti sistem dua bus. Lagi pula rangkaian kontrol dan pengamannya menjadi lebih kompleks dan kapasitas arus dari alat-alat yang terpasang seri harus lebih besar.

2.2.6 Representasi Kapasitor Bank

Kapasitor Bank berfungsi sebagai salah satu alternatif dalam peralatan listrik terhadap koreksi faktor daya (*power factor*). Kapasitor akan memberikan daya reaktif lebih tinggi jika bekerja pada tegangan yang lebih tinggi, meskipun bekerja pada tegangan yang lebih tinggi dari standar, kapasitor akan bekerja secara efektif dan tahan lama.

2.2.7 Representasi Beban

Jenis beban terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

a. *Static Load*

Beban statis dalam pemakaiannya selalu stabil dan tidak membutuhkan daya yang besar saat awalan atau mulai mengoperasikannya. Contoh dari beban statis adalah beban penerangan atau lampu.

b. *Dinamic Load* (Beban Dinamis)

Dinamic Load adalah beban yang membutuhkan daya yang besar dalam pengoperasiannya. Biasanya beban ini merupakan beban motor (induksi, sinkron, atau serempak). Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan. (Gustian, 2015)

2.2.8 Saluran Transmisi

Saluran Transmisi adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik sampai ke sistem distribusi hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik ditransmisikan melalui suatu bahan konduktor yang mengalirkan listrik. Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit dengan beban yang cukup jauh akan menimbulkan adanya perubahan kualitas tegangan. Dengan demikian sebuah saluran transmisi harus memiliki berbagai komponen untuk menjaga kestabilan kualitas tenaga listrik yang disalurkan.

Ada juga reaktansi dan impedansi yang juga merupakan karakteristik dari saluran transmisi. Reaktansi merupakan tahanan yang bereaksi terhadap perubahan tegangan atau perubahan arus. Sedangkan impedansi mengacu pada keseluruhan dari sifat tahanan terhadap arus baik mencakup resistansi, reaktansi atau keduanya. Reaktansi terbagi menjadi 2 yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. (Santjiatodjaja et al., 2019)

2.2.9 Metode Newton Raphson

Dasar dari metode Newton Raphson dalam penyelesaian aliran daya adalah deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variable lebih. Metode Newton Raphson menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus.

Daya injeksi pada bus i adalah :

$$P_i - j Q_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots (2.1)$$

Dalam hal ini dilakukan pemisahan daya nyata dan daya reaktif pada bus i. Pemisahan ini akan menghasilkan suatu set persamaan simultan non linear.

Dalam koordinat kutub diketahui :

$$\begin{aligned} |V_i| \angle \delta_i &= |V_i| e^{j\delta_i} \\ |V_j| \angle \delta_j &= |V_j| e^{j\delta_j} \\ |Y_{ij}| \angle \theta_j &= |Y_{ij}| e^{j\theta_{ij}} \end{aligned}$$

Karena $e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})} = \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) + j \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$ pemisahan daya pada bus i menjadi komponen real dan imajiner adalah:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle \theta_{ij} + \delta_j = |V_i| e^{-j\delta_i} \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j (e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})})$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.3)$$

Nilai P_i dan Q_i telah diketahui, tetapi nilai V_i dan δ_i tidak diketahui kecuali pada slack bus. Kedua persamaan non linier tersebut dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan simultan linier dengan cara menyatakan hubungan antara perubahan daya nyata ΔP_i dan daya reaktif ΔQ_i terhadap perubahan magnitude tegangan ΔV_i dan sudut fasa tegangan $\Delta \delta_i$.

ΔP_i	J1	J2	$\Delta \delta$
ΔQ_i	J3	J4	ΔV

Elemen – elemen matriks Jacobi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan daya nyata dan reaktif pada bus i dari persamaan (2.2) dan (2.3) yang diturunkan sebagai berikut : ($i = 1, 2, \dots, n-1$).

Elemen-elemen off-diagonal dari J1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \dots \dots \dots (2.5)$$

Elemen diagonal dari J1 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.6)$$

Elemen off-diagonal dari J2 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \dots \dots \dots (2.7)$$

Elemen diagonal dari J2 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + \sum_{j=1, j \neq i}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.8)$$

Elemen off-diagonal dari J3 adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \dots \dots \dots (2.9)$$

Elemen diagonal dari J3 adalah:

$$\frac{\partial Qi}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.10)$$

Elemen off diagonal dari J4 adalah:

$$\frac{\partial Pi}{\partial v_j} = -|V_i Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \dots\dots\dots(2.11)$$

Elemen diagonal dari J4 adalah:

$$\frac{\partial Pi}{\partial v_i} = -2 |V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \dots\dots\dots(2.12)$$

Elemen-elemen matriks Jacobi dihitung setiap akan melakukan iterasi. Perhitungan iterasi dimulai dengan memberikan perkiraan magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan mula-mula. Perubahan perubahan dalam daya nyata dan daya reaktif yang telah dijadwalkan dikurangi dengan daya nyata dan daya reaktif yang dihitung dari persamaan (2.5) sampai (2.12).

$$\begin{aligned} \Delta P_i^k &= P_i(\text{terjadwal}) - P_i^k \\ \Delta Q_i^k &= Q_i(\text{terjadwal}) - Q_i^k \quad i = 1, 2, \dots, n - 1 \dots\dots\dots(2.13) \end{aligned}$$

Elemen-elemen matriks Jacobi dihitung dengan menggunakan magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan estimasi mula-mula. Dengan menggunakan metode invers langsung maka persamaan linier (3.16) dapat dipecahkan untuk mendapatkan nilai-nilai magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan estimasi yang baru pada tiap bus (kecuali slack bus), sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

Proses iterasi kembali lagi ke proses awal dan hal ini terus diulangi sampai ΔP_i^k dan ΔQ_i^k untuk semua bus (selain *slack bus*) memenuhi harga toleransi yang diberikan (biasanya diambil ≤ 0.001).

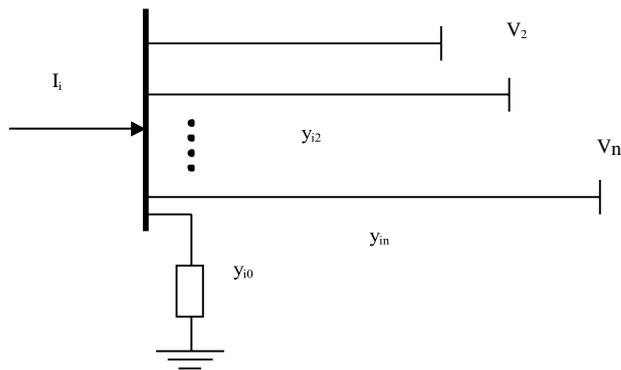
$$\begin{aligned} \delta_i^{k+1} &= \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \\ |V_i|^{k+1} &= |V_i|^k + \Delta |V_i|^k \dots\dots\dots(2.14) \end{aligned}$$

Jadi iterasi selesai bila,

$$\begin{aligned} \Delta \delta_i^k &\leq 0.001 \\ \Delta |V_i|^k &\leq 0.001 \end{aligned}$$

Kelebihan metode Newton Raphson adalah kurva iterasi yang lebih baik dan lebih sesuai untuk menghitung aliran beban pada sistem dengan jumlah yang besar.

2.2.10 Metode Gauss Seidel



Aplikasi hasil bus ini adalah:

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.15)$$

Daya nyata dan reaktif pada bus I adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \dots \dots \dots (2.16)$$

$I_i^* = \frac{P_i + jQ_i}{V_i}$, persamaan ini di konjugasikan menjadi,

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots \dots \dots (2.17)$$

Mensubstitusikan persamaan (2.16) dengan persamaan (2.15) hasilnya,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.18)$$

Dari hubungan diatas, hasilnya harus dipecahkan oleh *teknik iterasi*. Persamaan (2.18) dipecahkan untuk V_i .

Persamaan aliran daya biasanya ditulis dalam istilah elemen matrik admitansi bus. Sejak itu elemen diagonal-off pada matrik admitansi bus Y_{bus} , ditunjukkan oleh persamaan diatas, yaitu $Y_{ij} = -y_{ij}$, dan elemen diagonal adalah $Y_{ii} = \sum y_{ij}$, persamaan menjadi,

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} - \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)}}{Y_{ii}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dan

$$P_i^{(k+1)} = \Re [V_i^{*(k)} V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)}] \quad j \neq i \dots\dots\dots(2.20)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\Im V_i^{*(k)} \left[V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \quad j \neq i \dots\dots\dots(2.21)$$

Untuk generator bus (bus P-V) dimana P_i^{sch} dan $|V_i|$ adalah ditentukan, persamaan (2.21) ditentukan untuk $Q_i^{(k+1)}$. Untuk mendapatkan $V_i^{(k+1)}$ ditentukan dengan menggunakan persamaan,

$$(e_i^{(k+1)})^2 + (f_i^{(k+1)})^2 = |V_i^2| \dots\dots\dots(2.22)$$

atau

$$e_i^{(k+1)} = \sqrt{|V_i^2| - (f_i^{(k+1)})^2} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana $e_i^{(k+1)}$ dan $f_i^{(k+1)}$ adalah komponen real dan imajiner tegangan $V_i^{(k+1)}$ pada iterasi berikutnya. Kecepatan konvergensi dapat ditambahkan oleh aplikasi faktor ketelitian pada iterasi berikutnya yaitu

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \alpha (V_{ical}^{(k)} - V_i^{(k)}) \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana:

α = faktor kecepatan

V_{cal} = tegangan yang dihitung (calculated)

$$e_i^{(k+1)} - e_i^{(k)} \leq \epsilon \dots\dots\dots(2.25)$$

$$f_i^{(k+1)} - f_i^{(k)} \leq \epsilon \dots\dots\dots(2.26)$$

Iterasi dilanjutkan sampai magnitudo elemen dalam kolom ΔP dan ΔQ adalah lebih kecil dari nilai spesifik. Tipe daya tak sebanding ketelitiannya adalah 0.001 pu. Ketika solusi konvergen, daya aktif dan reaktif pada slack bus dihitung.

2.2.11 Metode Fast Decoupled

Karakteristik yang menarik dari pengoperasian sistem tenaga dalam kondisi tunak adalah ketergantungan antara daya nyata dengan sudut fasa tegangan bus dan antara daya reaktif dengan magnitudo tegangan bus. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada magnitudo tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya nyata. Sedangkan perubahan

kecil pada sudut tegangan fasa tidak akan menyebabkan perubahan berarti pada daya reaktif.

Ini dapat dibuktikan pada pendekatan-pendekatan dilakukan untuk menyatakan keterkaitan antara P dan δ serta antara Q dan V. Dengan menggunakan bentuk koordinat kutub maka solusi permasalahan diperoleh yaitu dengan cara mengasumsikan elemen-elemen sub matriks J2 dan J3 dalam matriks jacobii adalah nol.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

$$\Delta P = J_1 \Delta \delta = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta \delta \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta V = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|} \right] \Delta |V| \dots \dots \dots (2.29)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa apabila pada pembentukan daya aktif faktor yang menentukan adalah sudut tegangan jadi adanya perubahan pada magnitude tegangan tidak mempengaruhi daya aktif. Kondisi sebaliknya diperuntukkan pada persamaan pembentukan daya reaktif yaitu perubahan kecil pada sudut fasa tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti pada daya reaktif.

Elemen elemen matriks jacobii yang diturunkan dari persamaan (2.5) sampai (2.12) adalah:

Untuk J1 :

$$\begin{aligned} H_{ij} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \\ &= -V_i V_j \sin(\delta_j - \delta_i) \cdot B_{ij} \dots \dots \dots (2.30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{ii} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i V_i Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \\ &= -|V_i|^2 \cdot B_{ii} - Q_i \dots \dots \dots (2.31) \end{aligned}$$

Dimana

$$B_{ij} = Y_{ij} \sin \theta_{ij}$$

$$B_{ii} = Y_{ii} \sin \theta_{ii}$$

$$Q_i = \sum_{j \neq 1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \text{ dapat dilihat dari persamaan (2.3)}$$

Untuk J2 :

$$N_{ij} \approx 0$$

$$N_{ii} \approx 0$$

Untuk J3 :

$$J_{ij} \approx 0$$

$$J_{ii} \approx 0$$

Untuk J4 :

$$\begin{aligned} L_{ij} &= \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = - |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \\ &= - V_i V_j \sin(\delta_j - \delta_i) \cdot B_{ij} \dots\dots\dots(2.32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{ii} &= \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = |V_i V_i Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq 1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \\ &= \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = - V_i V_i Y_{ii} \sin \theta_{ij} + Q_i \\ &= \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i|^2 \cdot B_{ii} + Q_i \dots\dots\dots(2.33) \end{aligned}$$

dimana,

$$B_{ij} = Y_{ij} \sin \theta_{ij}$$

$$B_{ii} = Y_{ii} \sin \theta_{ii}$$

$$Q_i = \sum_{j \neq 1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \text{ dapat dilihat dari persamaan (2.3)}$$

Dalam bentuk matriks, lambang elemen matriks Jacobi dikoreksi

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \text{ menjadi:} \quad (2.34)$$

Atau dalam format iterasi dapat kita tulis:

$$\Delta P^k = H^k \cdot \Delta \delta^{k+1} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\Delta Q^k = L^k \cdot \Delta V^{k+1} \dots\dots\dots(2.36)$$

Metode decoupled ini mempunyai konvergensi yang sama dengan metode Newton Rapshon. Keuntungan yang dimiliki oleh metode ini adalah penggunaan

memori komputer yang lebih kecil karena mengabaikan sub matriks N dan J (atau J2 dan J3).(SULISTIYONO, n.d.)

2.2.12 ETAP

ETAP adalah perusahaan perangkat lunak rekayasa analitik spektrum penuh yang mengkhususkan diri dalam analisis, simulasi, pemantauan, pengendalian, optimalisasi dan otomasi daya listrik sistem.

Fitur yang terdapat di dalam ETAP antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain:

1. Network Analysis:

Arc Flash

- *Short Circuit*
- *Device Coordination & Sequence of Operation*
- *Load Flow*
- *Load Analyzer*
- *Motor Acceleration*
- *Harmonics*
- *Transient Stability*
- *Parameter Estimation*
- *Panel Systems*
- *Switching Sequence Management*

2. Cable Systems:

- *Cable Ampacity & Sizing*
- *Cable Pulling*
- *Load Flow*
- *U/G Duct Banks*
- *Thermal Analysis*

3. DC Systems:

- *Load Flow & Short Circuit*

- *Battery Systems*
- *Control Systems*
- 4. *Transmission & Distribution***
 - *Transmission Line*
 - *Sag & Tension*
 - *Multi Phase System*
 - *Unbalanced Load Flow*
 - *Optimal Load Flow*
 - *Capacitor Placement*
 - *Reability Assessment*
 - *Ground Grid Systems*
 - *Wind Turbine Generator*
 - *GIS Map*
- 5. *Real Time Solutions:***
 - *Monitoring & Trending*
 - *State Estimator*
 - *Event Playback*
 - *Remote Control & Automation*
 - *Energy Accounting*

Perangkat lunak ETAP menawarkan rangkaian daya terintegrasi terbaik dan terlengkap solusi perusahaan sistem, mencakup pemodelan hingga operasi.

1. Menawarkan satu platform yang terhubung dengan aplikasi terintegrasi
2. Berfungsi sebagai spesifikasi yang dapat dijalankan dari sistem yang sedang dikembangkan
3. Berfokus pada analitik sistem daya tingkat lanjut
4. Mengidentifikasi akar penyebab dengan mengidentifikasi masalah pengoperasian
5. Meminimalkan pemadaman yang tidak disengaja yang disebabkan oleh kesalahan manusia/kelebihan peralatan
6. Menawarkan pengoptimalan dan kecerdasan bisnis Memberikan wawasan desain dan operasional
7. Menjembatani sistem offline dan online

8. Merekonstruksi kondisi sistem untuk memeriksa tindakan pengguna/operator
9. Menyelidiki tindakan alternatif setelah fakta (analisis bagaimana-jika)
10. Fasilitas proses pembelajaran yang berkelanjutan untuk para insinyur dan operator
11. Memungkinkan pengambilan keputusan dan perencanaan berbasis data

ETAP adalah paket perusahaan sepenuhnya grafis yang berjalan pada *Microsoft® Windows®*. ETAP adalah analisis yang paling komprehensif. Alat yang tersedia untuk perancangan dan pengujian sistem tenaga. Menggunakan *offline* standarnya modul simulasi, ETAP dapat memanfaatkan data operasi *real-time* untuk pemantauan lanjutan, simulasi waktu nyata, pengoptimalan, manajemen energi, dan beban cerdas berkecepatan tinggi penumpahan.

ETAP telah dirancang dan dikembangkan oleh OTI (*Operation Technology Inc*) untuk para insinyur di Irvine untuk menangani beragam disiplin sistem tenaga untuk spektrum yang luas dari industri dalam satu terintegrasi paket dengan beberapa tampilan antarmuka, seperti jaringan AC dan DC, jalur kabel, *ground grid*, sistem informasi geografis (*Graphic Information Systems*), panel, *arc flash*, generator turbin angin (*Wind Turbine Generator*), koordinasi atau selektivitas perangkat pelindung dan sistem kontrol AC dan DC diagram.

ETAP memungkinkan kita untuk dengan mudah merancang dan mengedit grafis diagram garis tunggal (*Single Line Diagrams*), sistem *raceway* kabel bawah tanah (*Underground Cable Raceway Systems*), sistem kabel tiga dimensi, koordinasi arus waktu tingkat lanjut dan plot selektivitas, skema GIS, serta skema tiga dimensi, dimensi sistem jaringan tanah (*Ground Grid Systems*). Program ini telah dirancang untuk menggabungkan 4 konsep berikut.

1. Operasi Realitas Virtual

Operasi program meniru operasi sistem kelistrikan yang sebenarnya mungkin. Misalnya, saat Anda membuka atau menutup pemutus arus, membuat elemen tidak berfungsi atau mengubah status pengoperasian motor, motor yang mati daya elemen dan sub-sistem ditunjukkan pada SLD (*Single Line Diagram*) dengan warna abu-abu. ETAP bergabung konsep inovatif untuk menentukan koordinasi perangkat pelindung langsung dari *Single Line Diagram*.

2. Total Integrasi Data

ETAP menggabungkan atribut listrik, logis, mekanik dan fisik elemen sistem dalam database yang sama. Misalnya, kabel tidak hanya berisi data mewakili sifat listrik dan dimensi fisiknya tetapi juga informasi yang menunjukkan lintasan yang dilaluinya. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk aliran beban atau analisis hubung singkat (yang membutuhkan parameter dan koneksi kelistrikan) serta perhitungan penurunan kapasitas kabel (yang membutuhkan data perutean fisik). Integrasi data ini memberikan konsistensi di seluruh sistem dan menghilangkan kebutuhan untuk memasukkan banyak data elemen yang sama, yang dapat menghemat banyak waktu.

3. Kesederhanaan dalam Entri Data

ETAP melacak data rinci untuk setiap peralatan listrik. Editor data dapat mempercepat proses entri data dengan mensyaratkan data minimum untuk studi tertentu. Untuk mencapai ini, kami telah menyusun editor properti di cara paling logis untuk memasukkan data untuk berbagai jenis analisis atau desain.

4. Kualitas asuransi

ETAP percaya bahwa proses penjaminan mutu yang terdefinisi dengan baik dan efektif itu tumbuh subur pada perbaikan terus-menerus adalah kendaraan terbaik untuk mengubah kuat ide menjadi produk yang kuat. Perangkat lunak ETAP memenuhi standar yang kuat untuk kualitas dan keamanan yang ditetapkan oleh Amerika Serikat dan badan standar internasional untuk fasilitas nuklir.

Sesuai dengan Program Penjaminan Kualitas ETAP, semua prosedur dan aktivitas yang terkait dengan kualitas perangkat lunak ETAP tunduk pada audit. Auditor yang berkualifikasi menilai program secara berkala untuk mendeteksi penyimpangan apa pun memenuhi standar dan mengevaluasi efektivitas rencana yang ada dan Prosedur. Laporan audit didokumentasikan dengan baik dan tunduk pada audit yang dilakukan oleh klien nuklir kami dan penilaian sertifikasi ISO 9001:2015.

ETAP ada di daftar pemasok banyak fasilitas nuklir dan Masalah Pengadaan Nuklir Anggota Korporasi (*Nuclear Procurement Issues Corporation*). Program Penjaminan Mutu ETAP telah menjalani banyak audit sejak tahun 1991. Klien mengaudit program beberapa kali dalam tahun. Selama 2 tahun terakhir,

Program Penjaminan Mutu ETAP telah menjalani penilaian audit oleh organisasi nuklir.

Produk ETAP juga mematuhi Kode Peraturan Federal Amerika Serikat standar penjaminan mutu lainnya. Program Jaminan Kualitas ETAP secara ketat menegakkan kebijakan dan prosedur khusus yang memastikan keandalan semua ETAP perangkat lunak. Untuk fasilitas nuklir dan berdampak tinggi, semua pelepasan ETAP melalui proses verifikasi dan validasi (V&V) intensif selama masa revisi siklus. Verifikasi adalah proses penentuan baik tidaknya produk suatu fase tertentu dari siklus hidup revisi memenuhi persyaratan yang ditetapkan selama fase sebelumnya. Validasi adalah proses mengevaluasi perangkat lunak pada akhir siklus hidup revisi untuk memastikan kepatuhan dengan persyaratan perangkat lunak.

Metode V&V untuk ETAP sangat luas, terdiri dari ribuan kasus uji yang mencakup setiap modul perhitungan, antarmuka pengguna, persistensi, laporan, plot, data perpustakaan dan sebagainya. Uji kasus termasuk komprehensif perbandingan hasil studi dan kinerja sistem terhadap perhitungan tangan, pengukuran lapangan, standar industri (*ANSI / IEEE, IEC, UL*, dll.) dan lainnya.

2.2.13 Single Line Diagram

Setiap sistem tenaga di dunia diwakili oleh diagram garis tunggal (SLD; juga dikenal sebagai diagram satu baris) yang terdiri dari generator, beberapa saluran transmisi, banyak yang berbeda jenis transformator dan motor sebagai beban. Masing-masing komponen ini diwakili oleh sirkuit fase tunggal, dengan asumsi semua fase identik. Secara umum, banyak sistem memiliki tiga fase, meskipun beberapa dapat memiliki dua atau lebih. Untuk menganalisis daya yang mengalir melalui *Single Line Diagram* dengan benar dan akurat, kita harus mewakili komponen-komponen ini sebagai rangkaian ekuivalen masing-masing.

Setiap transformator diwakili oleh reaktansi kebocoran setara secara seri dengan transformator ideal. Komponen terpenting kedua adalah generator, yang dapat diwakili oleh sumber tegangan secara seri dengan reaktansi sinkron mesin. Komponen terpenting ketiga dari *Single Line Diagram* adalah saluran transmisi, yang diwakili oleh rangkaian π , yang merupakan kombinasi dari elemen pasif. Akhirnya, komponen yang tersisa dari *Single Line Diagram* adalah motor sebagai

beban berputar. Terkadang, beban dapat menjadi rangkaian resistif murni sebagai beban stasioner, ditampilkan sebagai murni resistensi. Menggabungkan semua sirkuit setara individu sebelumnya yang mewakili masing-masing peralatan atau komponen, kita dapat mengembangkan representasi kerja *Single Line Diagram*. *Single Line Diagram* membantu mentransfer daya listrik dari ujung pembangkit ke ujung beban.

Dalam kondisi stabil, daya dikirim ke beban dengan andal dan tanpa menunda. Namun, kesalahan pada *Single Line Diagram* menyebabkan masalah keandalan, menghasilkan beberapa penundaan, yang dapat merusak kerja sistem tenaga yang efisien. Untuk menganalisis hilangnya kinerja suatu sistem tenaga ini, perlu kita lakukan analisis secara umum disebut analisis sistem tenaga (*Power System Analysis*). Untuk melakukan analisis ini dengan benar, kita perlu memiliki representasi yang tepat dari semua komponen. Dan setiap komponen perlu dipelajari secara menyeluruh dan benar. (Shertuke, n.d.)

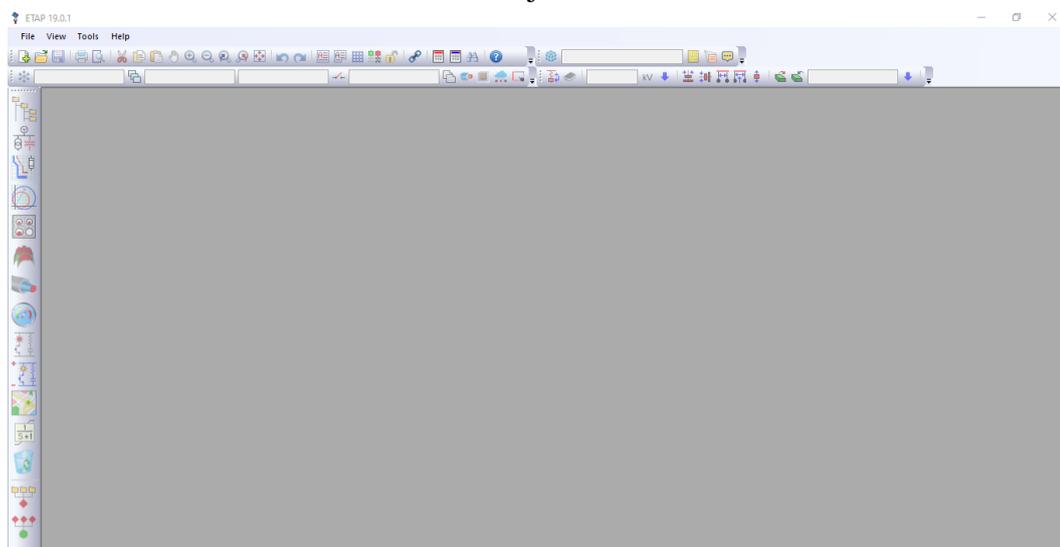
Dalam ETAP, semua peralatan listrik harus dimodelkan bentuk *Single Line Diagram* (SLD). Semua listrik peralatan memerlukan input tertentu untuk perhitungan aliran beban. ETAP menganggap bus terhubung ke beban (motor atau beban statis) sebagai memuat bus. ETAP menganggap bus terhubung ke sumber (Grid atau generator) beroperasi dalam mode ayun sebagai bus ayun. Demikian pula

ETAP memilih bus kontrol V, bus kontrol PF, dan MVAR bus kontrol berdasarkan kondisi operasi sumber. (Prabhu et al., 2016)

2.2.14 Langkah – Langkah Menggambar *Single Line Diagram*

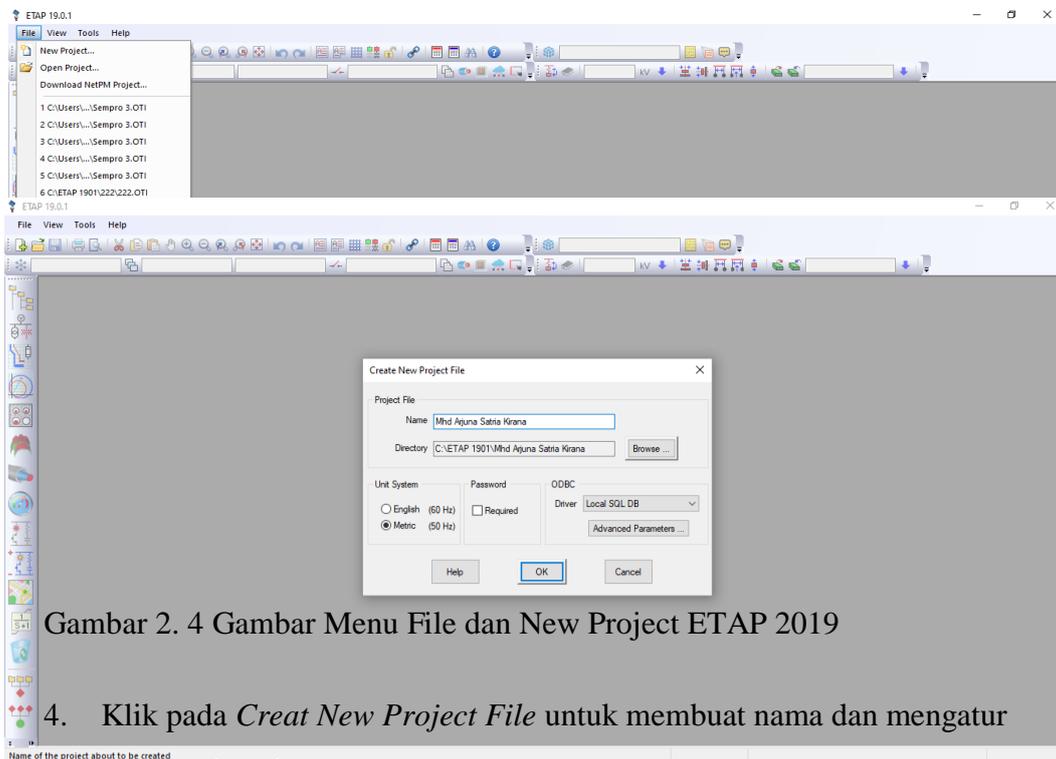
Adapun langkah – langkah membuat gambar *single line diagram* di ETAP sebagai berikut:

1. Membuka aplikasi ETAP 2019 yang telah diinstal
2. Setelah itu, akan muncul lembar kerja ETAP 2019



Gambar 2. 3 Halaman Awal ETAP 2019

3. Klik pada menu *file* dan klik *new project* untuk membuat dokumen baru

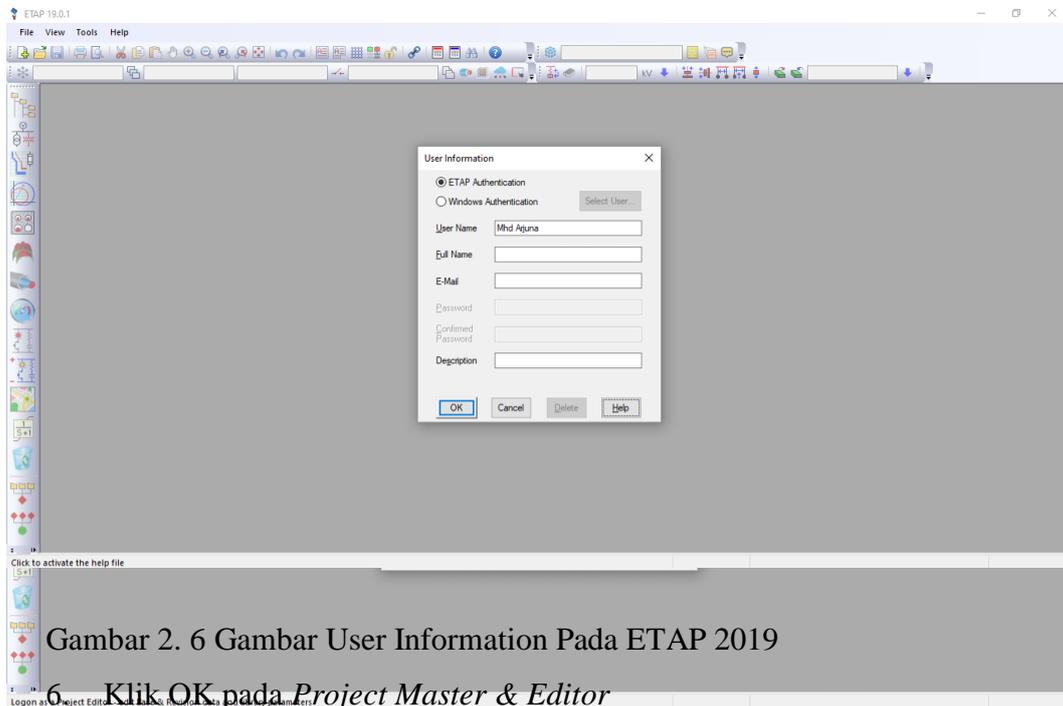


Gambar 2. 4 Gambar Menu File dan New Project ETAP 2019

4. Klik pada *Creat New Project File* untuk membuat nama dan mengatur frekuensi project

Gambar 2. 5 Gambar Creat New Project Pada ETAP 2019

5. Klik OK untuk melanjutkan ke lembar kerja ETAP 2019

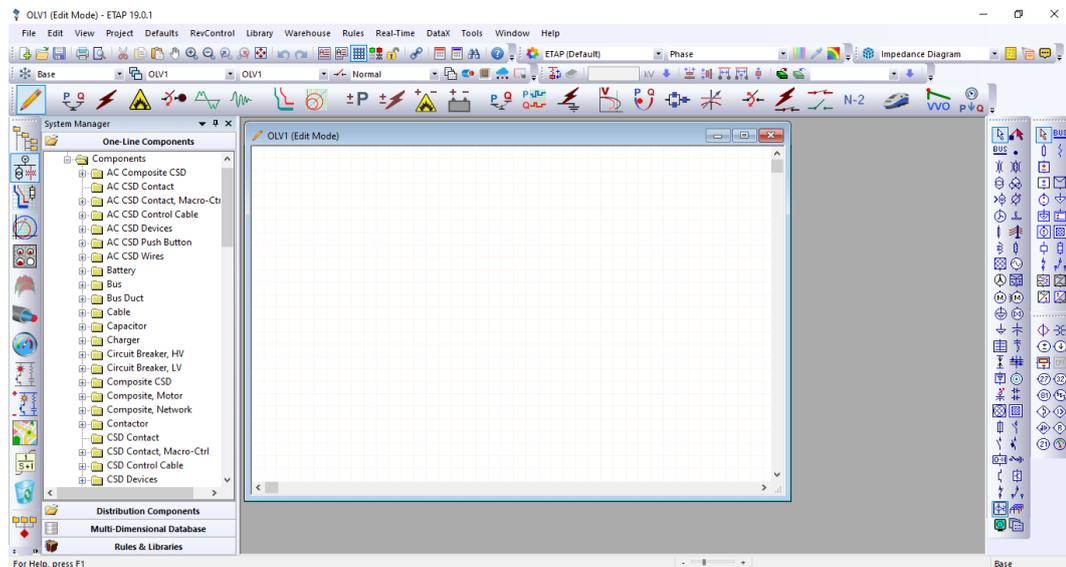


Gambar 2. 6 Gambar User Information Pada ETAP 2019

6. Klik OK pada *Project Master & Editor*

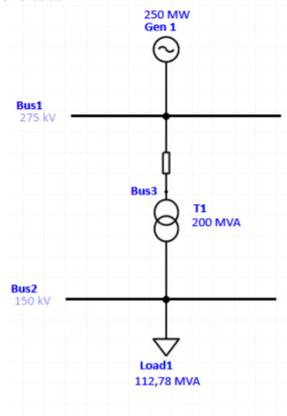
Gambar 2. 7 Gambar Access Level Pada ETAP 2019

7. Setelah itu akan dilanjutkan ke halaman kerja lembar ETAP 2019

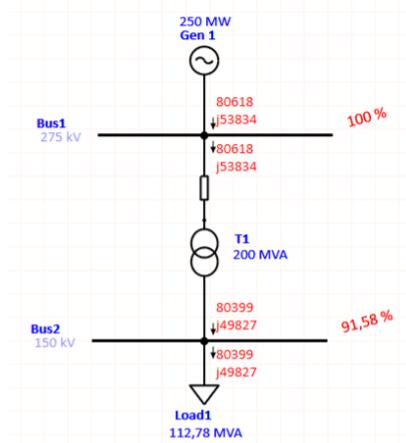


Gambar 2. 8 Gambar Lembar Kerja Pada ETAP 2019

2.2.15 Rangkaian Percobaan



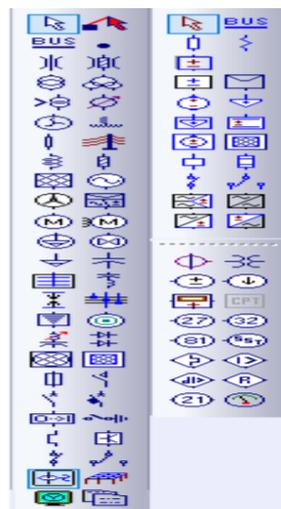
Gambar 2. 9 Gambar Rangkaian Percobaan Sederhana



Gambar 2. 10 Hasil Running Rangkaian Percobaan Sederhana

2.2.16 Elemen - Elemen Pada ETAP 2019

ETAP mempunyai 2 macam standar yang digunakan untuk melakukan analisa kelistrikan, *ANSI* dan *IEC*. Pada dasarnya perbedaan yang terjadi di antara kedua standar tersebut adalah frekuensi yang digunakan, yang berakibat pada perbedaan spesifikasi peralatan yang sesuai dengan frekuensi tersebut. Simbol elemen listrik yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan ETAP pun berbeda.



Gambar 2. 11 Elemen Standar IEC

Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah:

1. Generator

Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik.



Gambar 2. 12 Simbol Generator di ETAP

2. Busbar

Busbar adalah suatu penghantar impedansi rendah dimana beberapa sirkuit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka tiga busbar fasa dan satu netral.



Gambar 2. 13 Simbol Busbar di ETAP

3. Transformator

Transformator berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dengan rasio tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik.



Gambar 2. 14 Simbol Transformator di ETAP

4. Beban

Beban merupakan komponen bagian listrik dari suatu rangkaian yang mengkonsumsi tenaga listrik.



Gambar 2. 15 Simbol Beban di ETAP

5. Transmisi

Transmisi adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik sampai ke sistem distribusi hingga sampai pada konsumen pengguna listrik

Gambar 2. 16 Simbol Transmisi di ETAP

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan berdasarkan data transmisi unit 1 Medan dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara tahun 2023. Adapun waktu penelitian dilakukan antara bulan 1 Maret sampai 30 Mei 2023.

3.2 Peralatan Penelitian

Berikut peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah:

- A. 1 Unit Laptop Lenovo ideapad 330
- B. *Software* ETAP 2019

3.3 Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan skripsi ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian data yang diperlukan untuk analisis guna menyelesaikan masalah yang dirumuskan, seperti pencarian bahan pustaka dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung keperluan dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian laporan tugas akhir.

2. Pengambilan Data Lapangan

Melakukan pengamatan data yang diberikan ditinjau dari jumlah bus pembangkit, transmisi, jarak tranmisi, beban dan pembangkit unit 1 Medan dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara.

3.4 Sumber Data Penelitian

Data pada tugas akhir ini terdiri dari data bus pembangkit, transmisi, jarak transmisi, beban, dan pembangkit dari unit 1 Medan PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara. Berikut data penelitian yang telah dikumpulkan pada penelitian ini di PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara adalah data tahun 2023 yaitu:

3.4.1 Data Busbar Sumatera Utara Tahun 2023

Tabel 3. 1 Data Busbar Sumatera Utara Tahun 2023

NO	BUSBAR	KAPASITAS (KV)
1	Batu Gingging	150
2	Binjai	150
3	Brastagi	150
5	Dairi	150
4	Denai	150
6	Galang	150
7	Gis Listrik	150
8	Glugur	150
9	Helvetia	150
10	KIM	150
11	KIM II	150
12	Kuala	150
13	Kualanamu	150
14	Mabar	150
15	Namorambe	150
16	Pancing	150
17	Pangkalan Brandan	150
18	Pangkalan Susu	275
19	Paya Geli	150
20	Paya Pasir	150
21	Perbaungan	150
22	Percut	150
23	PLTGU Belawan	150
24	PLTU Belawan	150
25	Sei Kera	150
26	Sei Rotan	150
27	Selayang	150
28	Sumbagut	150
29	Tanjung Morawa	150
30	Tanjung Pura	150
31	Tebing Tinggi	150
32	Teladan	150
33	Titi Kuning	150
34	Wampu	150

Data Busbar yang diambil dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara.

3.4.2 Data Pembangkitan Sumatera Utara Tahun 2023

Tabel 3. 2 Data Pembangkitan Sumatera Utara Tahun 2023

NO	BUS PEMBANGKIT	KAPASITAS	PUNCAK (MW)	NORMAL (MW)
1	PLTGU Belawan 1	150 MW	120	75
2	PLTGU Belawan 2	150 MW	120	75
3	PLTGU Belawan 3	150 MW	120	75
4	PLTGU Belawan 4	150 MW	120	75
5	PLTGU Belawan 5	150 MW	120	75
6	PLTA Wampu	45 MW	31	8
7	PLTD Glugur	32.7 MW	17	16
8	PLTD Titi Kuning	24.84 MW	15	12
9	PLTG Paya Pasir	26.5 MW	18	13
10	PLTGU Sumbagut 1	250 MW	200	125
11	PLTGU Sumbagut 2	250 MW	200	100
12	PLTMH Dairi	43.5 MW	30	21
13	PLTU Pangkalan Susu 1	220 MW	150	110
14	PLTU Pangkalan Susu 2	220 MW	150	110
15	PLTU Pangkalan Susu 3	200 MW	140	100
16	PLTU Belawan 1	55 MW	44	27
17	PLTU Belawan 2	55 MW	44	27
18	PLTU Belawan 3	55 MW	44	27
19	PLTP Sibayak	10 MW	6	5

Data Pembangkitan yang diambil dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara.

3.4.3 Data Saluran & Data Reaktansi Saluran

Tabel 3. 3 Data Saluran & Reaktansi Saluran Sumatera Utara Tahun 2023

Line	Dari Bus	Ke Bus	R(pu)	X(pu)	Z(pu)	Y(pu)
1	Percut	KIM	0.02	0.11	0.11	0.4183347
2	Belawan PLTU	Paya Pasir	0.13	0.79	0.80	0.5672688
3	Percut	Pancing	0.10	0.56	0.57	2.0916730
4	Perbaungan	Sei Rotan	2.62	6.68	7.18	2.3000140
5	T.Morawa	Denai	0.80	2.04	2.19	0.7024146
6	Denai	Sei Rotan	0.82	2.09	2.25	0.7206837
7	Sei Rotan	T.Morawa	0.56	1.42	1.53	0.4888554
8	Sei Rotan	Belawan PLTGU	0.55	3.33	3.38	2.4220290
9	Belawan PLTGU	Binjai	0.35	1.93	1.97	7.2094400
10	P Brandan	Binjai	0.91	2.93	3.07	10.2710000
11	Wampu	Brastagi	1.44	5.18	5.38	3.5655210
12	Sei Rotan	Percut	0.02	0.11	0.11	0.4183347
13	Sei Rotan	Paya Pasir	0.36	1.36	1.40	4.8479800

14	Percut	Sumbagut 1	0.08	0.51	0.51	0.3671131
15	Sei Rotan	Titi Kuning	0.53	2.21	2.27	1.5477410
16	Glugur	Paya Geli	0.37	1.53	1.57	1.0726250
17	Paya Pasir	Mabar	0.09	0.34	0.35	1.2119950
18	Paya Pasir	Paya Geli	0.32	1.22	1.26	4.3472390
19	Binjai	Paya Geli	0.25	0.80	0.84	2.8138600
20	Paya Geli	Titi Kuning	1.87	5.51	5.81	1.9452790
21	Titi Kuning	Namurambe	0.76	2.25	2.37	0.7942001
22	Percut	KIM II	0,02	0,11	0,11	0,4183347
23	Namurambe	Paya Geli	1.13	3.34	3.53	1.1804470
24	GIS Listrik	Titi Kuning	0.14	0.46	0.48	1.6030110
25	Titi Kuning	Brastagi	0.94	3.02	3.16	10.5721900
26	Batu Gingging	Paya Geli	0.36	1.30	1.35	0.8913802
27	Lamhotma	Belawan PLTU	0.43	1.10	1.18	0.3779809
28	Sumbagut 1	Galang	0.22	1.32	1.33	10.7967000
29	Kualanamu	T.Morawa	0.25	0.80	0.84	2.8138600
30	Sei Rotan	KIM	1.23	5.28	5.42	1.9523430
31	P Brandan	Pngkln Susu	0.18	0.58	0.60	2.0214510
32	Pangkaln susu	Binjai	0.43	2.63	2.66	21.5625400
33	Brastagi	Dairi	5.39	13.73	14.75	4.7247620
34	Namurambe	Galang	0.49	2.69	2.74	10.0392600
35	Binjai	Galang	0.27	1.50	1.53	63.2682300
36	Galang	T.Morawa	1.60	8.75	8.89	32.6275800
37	KIM	KIM II	0.21	0.88	0.91	0.3282735
38	KIM II	Sei Rotan	1.03	4.41	4.53	1.6413670
39	Pancing	KIM II	0.21	1.08	1.09	4.3381640
40	Sei Kera	Denai	0.33	1.41	1.45	0.5252376
41	Pancing	Sei Kera	0.33	1.41	1.45	0.5252376
42	Pancing	Denai	0.33	1.41	1.45	0.5252376
43	Perbaungan	Kualanamu	0.18	0.58	0.60	2.0214510
44	Paya Geli	Selayang	0.16	0.52	0.54	1.8193060
45	Namurambe	Selayang	0.16	0.52	0.54	1.8193060
46	Batu Gingging	GIS Listrik	0.09	0.29	0.30	1.0107260
47	KIM	Mabar	0.36	1.36	1.40	4.8479800
48	Sei Kera	Teladan	0.09	0.34	0.35	1.2263020
49	Teladan	Titi Kuning	0.08	0.29	0.30	1.0219180
50	Paya Geli	Helvetia	0.08	0.29	0.30	1.0219180
51	Glugur	Helvetia	0.08	0.29	0.30	1.0219180
52	Binjai	Kuala	0.16	0.52	0.54	1.8193060
53	P Brandan	Tanjung Pura	0.45	1.44	1.51	5.0536290
54	Binjai	Tanjung Pura	0.45	1.44	1.51	5.0536290
55	Sumbagut 1	Pangkalan Susu	0.24	1.33	1.36	56.2384200

Data Saluran dan Reaktansi Saluran yang diambil dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara.

3.4.4 Data Jarak Transmisi Sumatera Utara Tahun 2023

Tabel 3. 4 Data Jarak Transmisi Sumatera Utara Tahun 2023

Line	Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Km)
1	Percut	KIM	17
2	Belawan PLTU	Paya Pasir	8,3
3	Percut	Pancing	10
4	Perbaungan	Sei Rotan	36,51
5	Tanjung Morawa	Denai	11,15
6	Denai	Sei Rotan	11,44
7	Sei Rotan	Tanjung Morawa	7,76
8	Sei Rotan	Belawan PLTGU	26,39
9	Belawan PLTGU	Binjai	34,77
10	P Brandan	Binjai	50,81
11	Wampu	Brastagi	40
12	Sei Rotan	Percut	2
13	Sei Rotan	Paya Pasir	28
14	Percut	Sumbagut 1	23,72
15	Sei Rotan	Titi Kuning	27
16	Glugur	Paya Geli	11,92
17	Paya Pasir	Mabar	5,93
18	Paya Pasir	Paya Geli	21,27
19	Binjai	Paya Geli	13,92
20	Paya Geli	Titi Kuning	30,47
21	Titi Kuning	Namurambe	12,44
22	Percut	KIM II	16
23	Namurambe	Paya Geli	18,49
24	GIS Listrik	Titi Kuning	7,93
25	Titi Kuning	Brastagi	52,3
26	Batu Gingging	Paya Geli	10
27	Lamhotma	Belawan PLTU	7,8
28	Sumbagut 1	Galang	35
29	Kualanamu	Tanjung Morawa	13,92
30	Sei Rotan	KIM	25
31	Pangkalan Brandan	Pangkalan Susu	10
32	Pangkalan susu	Binjai	69,9
33	Brastagi	Dairi	75
34	Namurambe	Galang	48
35	Binjai	Galang	90
36	Galang	T.Morawa	156
37	KIM	KIM II	5
38	KIM II	Sei Rotan	25
39	Pancing	KIM II	20
40	Sei Kera	Denai	6,8
41	Pancing	Sei Kera	8

42	Pancing	Denai	8
43	Perbaungan	Kualanamu	10
44	Paya Geli	Selayang	9
45	Namurambe	Selayang	9
46	Batu Gingging	GIS Listrik	5
47	KIM	Mabar	23,72
48	Sei Kera	Teladan	4,4
49	Teladan	Titi Kuning	4,6
50	Paya Geli	Helvetia	5
51	Glugur	Helvetia	5
52	Binjai	Kuala	9
53	Pangkalan Brandan	Tanjung Pura	25
54	Binjai	Tanjung Pura	25
55	Sumbagut 1	Pangkalan Susu	80

Data Jarak Saluran yang diambil dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara.

3.4.5 Data Pembebanan Sumatera Utara Tahun 2023

Tabel 3. 5 Data Pembebanan Sumatera Utara Tahun 2023

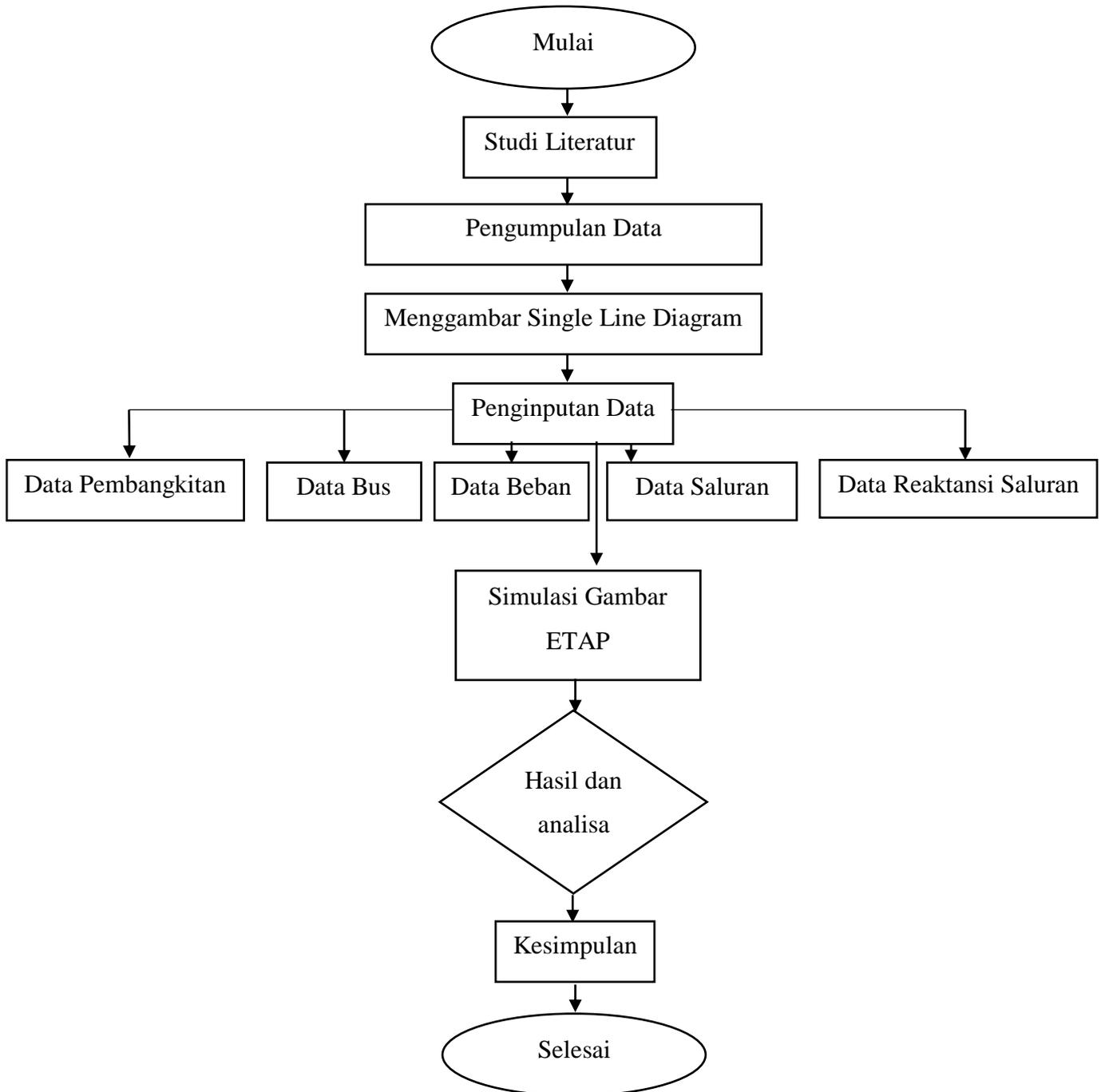
No	GARDU INDUK	PUNCAK (MW)	NORMAL (MW)
1	Glugur	100.83	106.76
2	Gis Listrik	145.74	77.15
3	Titi Kuning	130.83	103.89
4	Paya Pasir	80.28	28.33
5	Mabar	73.63	38.98
6	Kim	222.22	117.64
8	Lamhotma	66.16	10.01
9	Denai	100.94	71.25
10	Namurambe	92.08	65
11	Sei Rotan	121.16	91.9
12	Paya Geli	213.97	113.28
13	Binjai	89.25	63
14	Pangkalan Brandan	59.43	31.46
15	Perbaungan	48.86	51.73
16	Tanjung Morawa	101.88	71.92
17	Brastagi	57.53	60.91

18	Kualanamu	97.75	41.4
19	Kim II	115.95	122.78
20	Selayang	140.45	99.14
21	Pancing	160.38	90.57
22	Batu Gingging	212.52	94.75
23	Galang	14.83	15.7
24	Dairi	8.75	9.26
25	Sei Kera	119.36	84.25
26	Helvetia	151.94	107.25
27	Kuala	33.08	35.03
28	Teladan	212.93	112.73

Data Pembebanan yang diambil dari PT.PLN Wilayah 1 Sumatera Bagian Utara.

3.5 Flowchart Penelitian

Adapun beberapa proses berlangsungnya penelitian ini akan dipaparkan dalam bentuk alur diagram *flowchart* berikut ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Dengan *Software* ETAP 2019

ETAP adalah perangkat lunak rekayasa analitik spektrum penuh yang mengkhususkan diri dalam analisis, simulasi, pemantauan, pengendalian, optimalisasi dan otomasi daya listrik sistem.

Penelitian ini menggunakan analisis pada kondisi beban normal. Sebelum dilakukan perhitungan, dilakukan pengaturan tingkat ketelitian iterasi (*MVA convergence tolerance*) dan jumlah iterasi maksimumnya. Pengaturan *MVA convergence tolerance* yang akan di set yaitu sebesar 0,0001 dengan 100 jumlah iterasi maksimum.

Perhitungan dengan Metode Newton Raphson selesai pada iterasi maksimum ke- 4 dan *convergence tolerance* sebesar 0,0001. Untuk perhitungan, standar yang digunakan adalah standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) dan dengan frekuensi sebesar 50 Hz.

4.1.1. Analisa Data

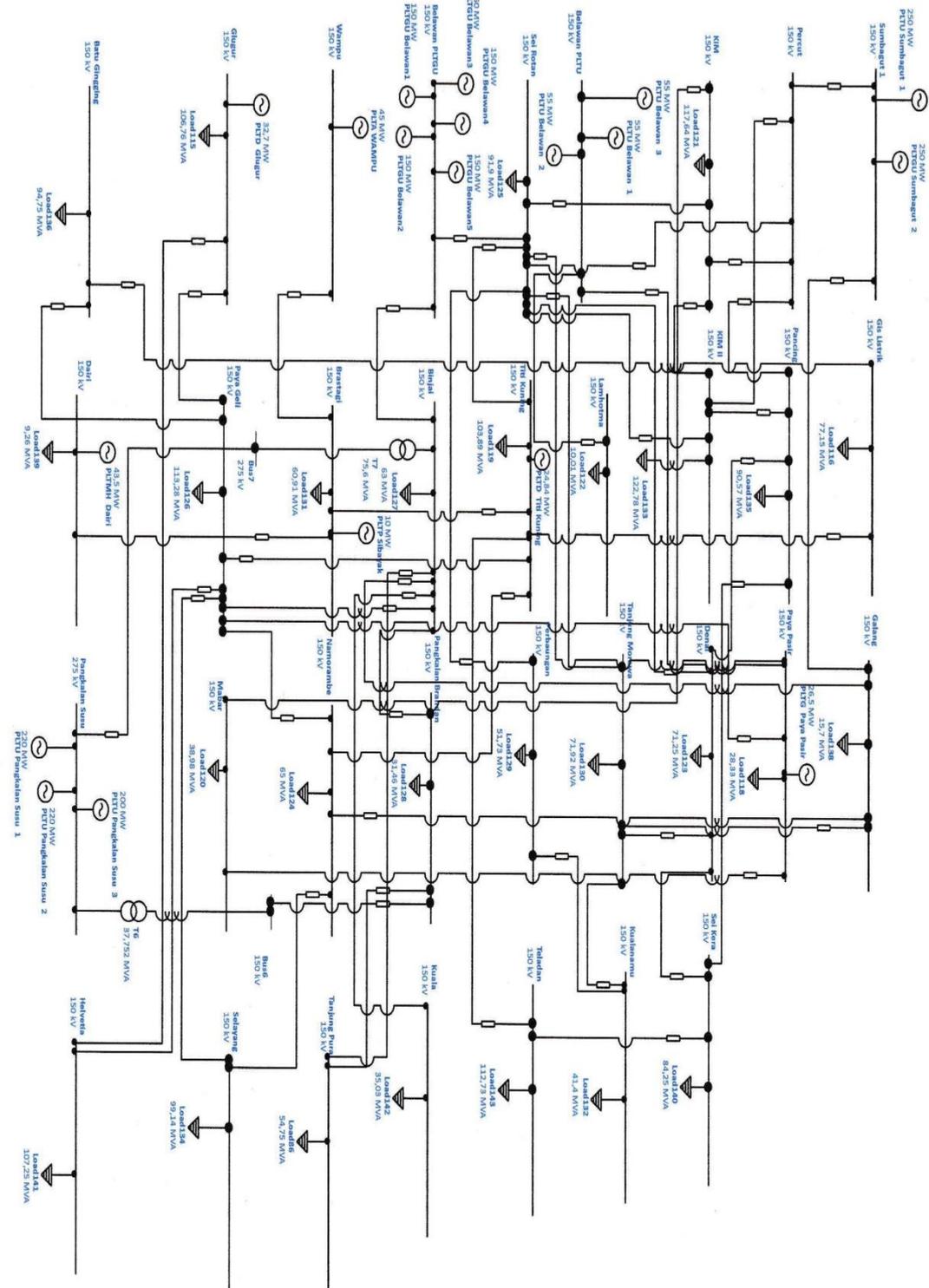
Penyelesaian aliran daya tiga fasa pada sistem tenaga listrik dilakukan untuk mengetahui besaran-besaran tegangan, sudut fasa, aliran daya aktif dan reaktif serta rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada masing-masing bus. Pada perhitungan ini dibutuhkan 2 trafo untuk *step up* dan *step down* dari bus 275 kV ke 150 kV dan sebaliknya.

4.1.2. Besar Aliran Daya Aktif dan Daya Reaktif

Aliran daya aktif dan daya reaktif terbesar berdasarkan hasil simulasi berada pada transmisi bus Titi Kuning ke bus Teladan, besar aliran dayanya sebesar 331.808 MW dan 196.516 Mvar. Dan bus yang memiliki beban terbesar yaitu bus KIM II sebesar 104.363 MW dan 64.678 Mvar.

4.1.3. Besar Losses Daya Aktif dan Daya Reaktif

Dari simulasi yang dilakukan losses daya aktif terbesar berada pada bus Sumbagut 1, besar losesnya sebesar 15334.2 kW. Hal ini disebabkan karena pembangkit pada bus Sumbagut 1 sebesar 500 MW dan hanya mengalirkan kepada 2 bus saja yaitu bus Percut dan bus Galang.



Gambar 4. 2 Gambar One Line Diagram (Running) Sistem Tenaga Listrik Transmisi Unit 1 Medan

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3---		Config.:	Normal

Electrical Transient Analyzer Program

Load Flow Analysis

Loading Category (1): Design
 Generation Category (1): Design
 Load Diversity Factor: None

	Swing	V-Control	Load	Total
Number of Buses:	10	0	26	36

	XFMR2	XFMR3	Reactor	Line/Cable/ Busway	Impedance	Tie PD	Total
Number of Branches:	2	0	0	54	0	0	56

Method of Solution:	Newton-Raphson Method
Maximum No. of Iteration:	100
Precision of Solution:	0.0001000
System Frequency:	50.00 Hz
Unit System:	Metric
Project Filename:	Sempro 3---
Output Filename:	C:\Users\Mhd Arjuna\Pictures\ETAP\Beban Normal\BACKUP\Untitled.lfr

Project:	ETAP	Page:	2
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Sempro 3--	Config.:	Normal

Adjustments

<u>Tolerance</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Percent</u>
Transformer Impedance:	Yes	Individual	
Reactor Impedance:	Yes	Individual	
Overload Heater Resistance:	No		
Transmission Line Length:	No		
Cable / Busway Length:	No		

<u>Temperature Correction</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Degree C</u>
Transmission Line Resistance:	Yes	Individual	
Cable / Busway Resistance:	Yes	Individual	

Project:	ETAP	Page:	3
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempur 3		Config.:	Normal

Bus Input Data

Bus ID	Bus		Initial Voltage		Load							
	KV	Sub-sys	% Mag.	Ang.	Constant kVA		Constant Z		Constant I		Generic	
					MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
Batu Ginggaing	150.000	1	100.0	0.0			80.537	49.913				
Belawan PLTGU	150.000	1	100.0	0.0								
Belawan PLTU	150.000	1	100.0	0.0								
Binjai	150.000	1	100.0	0.0			53.550	33.187				
Brastagi	150.000	1	100.0	0.0			51.774	32.086				
Bus6	150.000	1	100.0	0.0								
Bus7	275.000	1	100.0	0.0								
Dairi	150.000	1	100.0	0.0			7.871	4.878				
Denai	150.000	1	100.0	0.0			60.563	37.533				
Galang	150.000	1	100.0	0.0			13.345	8.270				
Gis Listrik	150.000	1	100.0	0.0			65.578	40.641				
Glugur	150.000	1	100.0	0.0			90.746	56.239				
Helvetia	150.000	1	100.0	0.0			91.163	56.497				
KIM	150.000	1	100.0	0.0			99.994	61.971				
KIM II	150.000	1	100.0	0.0			104.363	64.678				
Kuala	150.000	1	100.0	0.0			29.776	18.453				
Kualanamu	150.000	1	100.0	0.0			35.190	21.809				
Lamhotma	150.000	1	100.0	0.0			8.509	5.273				
Mabar	150.000	1	100.0	0.0			33.133	20.534				
Namorambe	150.000	1	100.0	0.0			55.250	34.241				
Pancing	150.000	1	100.0	0.0			76.985	47.711				
Pangkalan Brandan	150.000	1	100.0	0.0			26.741	16.573				
Pangkalan Susa	275.000	1	100.0	0.0								
Paya Geli	150.000	1	100.0	0.0			96.288	59.674				
Paya Pasir	150.000	1	100.0	0.0			24.081	14.924				
Perbaungan	150.000	1	100.0	0.0			43.971	27.250				
Percut	150.000	1	100.0	0.0								
Sei Kara	150.000	1	100.0	0.0			71.613	44.381				
Sei Rotan	150.000	1	100.0	0.0			78.115	48.411				
Selayang	150.000	1	100.0	0.0			84.269	52.225				
Sumbagut I	150.000	1	100.0	0.0								
Tanjung Morawa	150.000	1	100.0	0.0			61.132	37.886				
Tanjung Pura	150.000	1	100.0	0.0			46.538	28.841				

Project:	ETAP	Page:	4
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3~		Config.:	Normal

Bus		Initial Voltage		Load								
ID	kV	Sub-sys	% Mag.	Ang.	Constant kVA		Constant Z		Constant I		Generic	
					MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
Teladan	150.000	1	100.0	0.0			95.821	59.384				
Titi Kuning	150.000	1	100.0	0.0			88.306	54.727				
Wampu	150.000	1	100.0	0.0								
Total Number of Buses: 36					0.000	0.000	1675.197	1038.194	0.000	0.000	0.000	0.000

Generation Bus				Voltage		Generation			Mvar Limits	
ID	kV	Type	Sub-sys	% Mag.	Angle	MW	Mvar	% PF	Max	Min
Belawan PLTGU	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Belawan PLTU	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Brastagi	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Dairi	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Gilgur	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Pangkalan Susu	275.000	Swing	1	100.0	0.0					
Paya Pasir	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Sumbagut 1	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Titi Kuning	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
Wampu	150.000	Swing	1	100.0	0.0					
						0.000	0.000			

Project:	ETAP	Page:	5
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3---		Config.:	Normal

Line/Cable/Busway Input Data

ohms or siemens/1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line/Busway)

Line/Cable/Busway		Size	Length			T (°C)	R	X	Y
ID	Library		Adj. (m)	% Tol.	#/Phase				
Line1		34,4	17000.0	0.0	1	75	0.110000	0.110000	0.0000004
Line3		34,4	8300.0	0.0	1	75	0.790000	0.800000	0.0000006
Line4		34,4	10000.0	0.0	1	75	0.560000	0.570000	0.0000021
Line6		34,4	36510.0	0.0	1	75	6.680000	7.180000	0.0000023
Line7		34,4	11150.0	0.0	1	75	2.040000	2.190000	0.0000007
Line8		34,4	11440.0	0.0	1	75	2.090000	2.250000	0.0000007
Line9		34,4	2000.0	0.0	1	75	0.110000	0.110000	0.0000004
Line10		34,4	40000.0	0.0	1	75	5.180000	5.380000	0.0000036
Line11		34,4	28000.0	0.0	1	75	1.360000	1.400000	0.0000048
Line12		34,4	23720.0	0.0	1	75	0.510000	0.510000	0.0000004
Line13		34,4	27000.0	0.0	1	75	2.210000	2.270000	0.0000015
Line14		34,4	11920.0	0.0	1	75	1.530000	1.570000	0.0000011
Line15		34,4	50810.0	0.0	1	75	2.930000	3.070000	0.0000103
Line16		34,4	34470.0	0.0	1	75	1.930000	1.970000	0.0000072
Line17		34,4	26390.0	0.0	1	75	3.330000	3.380000	0.0000024
Line18		34,4	7760.0	0.0	1	75	1.420000	1.530000	0.0000005
Line21		34,4	5930.0	0.0	1	75	0.340000	0.350000	0.0000012
Line22		34,4	21270.0	0.0	1	75	1.220000	1.260000	0.0000043
Line23		34,4	13920.0	0.0	1	75	0.800000	0.840000	0.0000028
Line24		34,4	30470.0	0.0	1	75	5.510000	5.810000	0.0000019
Line26		34,4	12440.0	0.0	1	75	2.250000	2.370000	0.0000008
Line28		34,4	16000.0	0.0	1	75	0.110000	0.110000	0.0000004
Line30		34,4	18490.0	0.0	1	75	3.340000	3.530000	0.0000012
Line32		34,4	7930.0	0.0	1	75	0.460000	0.480000	0.0000016
Line34		34,4	52300.0	0.0	1	75	3.020000	3.160000	0.0000106
Line36		34,4	10000.0	0.0	1	75	1.300000	1.350000	0.0000009
Line38		34,4	10000.0	0.0	1	75	0.580000	0.600000	0.0000020
Line40		34,4	69900.0	0.0	1	75	2.630000	2.660000	0.0000216
Line42		34,4	75000.0	0.0	1	75	13.730000	14.750000	0.0000047
Line44		34,4	7800.0	0.0	1	75	1.100000	1.180000	0.0000004
Line46		34,4	35000.0	0.0	1	75	1.320000	1.330000	0.0000108
Line48		34,4	48000.0	0.0	1	75	2.690000	2.740000	0.0000100
Line50		34,4	90000.0	0.0	1	75	1.500000	1.530000	0.0000633
Line52		34,4	156000.0	0.0	1	75	8.750000	8.890000	0.0000326

Project:	ETAP	Page:	6
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename: Sempro 3	Study Case: LF	Config.:	Normal

ohms or siemens/1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line/Busway)

Line/Cable/Busway ID	Library	Size	Length				R	X	Y
			Adj. (m)	% Tol.	#/Phase	T (°C)			
Line54		34,4	25000.0	0.0	1	75	5.280000	5.420000	0.000020
Line55		34,4	13920.0	0.0	1	75	0.800000	0.840000	0.000028
Line57		34,4	5000.0	0.0	1	75	0.880000	0.910000	0.000003
Line59		34,4	25000.0	0.0	1	75	4.410000	4.530000	0.000016
Line61		34,4	20000.0	0.0	1	75	1.080000	1.090000	0.000043
Line63		34,4	6800.0	0.0	1	75	1.410000	1.450000	0.000005
Line65		34,4	8000.0	0.0	1	75	1.410000	1.450000	0.000005
Line66		34,4	8000.0	0.0	1	75	1.410000	1.450000	0.000005
Line68		34,4	10000.0	0.0	1	75	0.580000	0.600000	0.000020
Line70		34,4	9000.0	0.0	1	75	0.520000	0.540000	0.000018
Line72		34,4	9000.0	0.0	1	75	0.520000	0.540000	0.000018
Line73		34,4	5000.0	0.0	1	75	0.290000	0.300000	0.000010
Line74		34,4	23720.0	0.0	1	75	1.360000	1.400000	0.000048
Line75		34,4	4400.0	0.0	1	75	0.340000	0.350000	0.000012
Line77		34,4	4600.0	0.0	1	75	0.290000	0.300000	0.000010
Line78		34,4	5000.0	0.0	1	75	0.290000	0.300000	0.000010
Line81		34,4	5000.0	0.0	1	75	0.290000	0.300000	0.000010
Line83		34,4	9000.0	0.0	1	75	0.520000	0.540000	0.000018
Line84		34,4	25000.0	0.0	1	75	1.440000	1.510000	0.000051
Line85		34,4	25000.0	0.0	1	75	1.440000	1.510000	0.000051

Line / Cable / Busway resistances are listed at the specified temperatures.

Project:	ETAP	Page:	7
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3--		Config.:	Normal

2-Winding Transformer Input Data

Transformer		Rating					Z Variation			% Tap Setting		Adjusted	Phase Shift	
ID	Phase	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z1	X1/R1	+5%	-5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
T6	3-Phase	37.752	150.000	275.000	12.50	45.00	0	0	0	-5.000	0	12.5000	YNd	0.000
T7	3-Phase	75.600	275.000	150.000	12.50	45.00	0	0	0	0	0	12.5000	Dyn	0.000

Project: ETAP Page: 8
 Location: 19.0.1C Date: 13-10-2023
 Contract: SN:
 Engineer: Study Case: LF Revision: Base
 Filename: Sempro 3~ Config.: Normal

Branch Connections

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVA Base			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
T6	2W XFMR	Bus6	Pangkalan Susu	0.70	31.45	31.46	
T7	2W XFMR	Bus7	Binjai	0.37	16.53	16.53	
Line1	Line	Percut	KIM	0.83	0.83	1.18	0.1600130
Line3	Line	Belawan PLTU	Paya Pasir	2.91	2.95	4.15	0.1059374
Line4	Line	Percut	Pancing	2.49	2.53	3.55	0.4706258
Line6	Line	Perbaungan	Sei Rotan	108.39	116.51	159.13	1.8894010
Line7	Line	Tanjung Morawa	Denai	10.11	10.85	14.83	0.1762183
Line8	Line	Denai	Sei Rotan	10.63	11.44	15.61	0.1855040
Line9	Line	Sei Rotan	Percut	0.10	0.10	0.14	0.0188251
Line10	Line	Wampu	Brastagi	92.09	95.64	132.77	3.2089680
Line11	Line	Sei Rotan	Paya Pasir	16.92	17.42	24.29	3.0542270
Line12	Line	Percut	Sumbagut 1	5.38	5.38	7.60	0.1959283
Line13	Line	Sei Rotan	Titi Kuning	26.52	27.24	38.02	0.9402521
Line14	Line	Glugut	Paya Geli	8.11	8.32	11.61	0.2876794
Line15	Line	Pangkalan Brandan	Binjai	66.17	69.33	95.83	11.7420600
Line16	Line	Belawan PLTGU	Binjai	29.57	30.18	42.25	5.5914620
Line17	Line	Sei Rotan	Belawan PLTGU	39.06	39.64	55.65	1.4381410
Line18	Line	Sei Rotan	Tanjung Morawa	4.90	5.28	7.20	0.0853542
Line21	Line	Paya Pasir	Mabar	0.90	0.92	1.29	0.1617111
Line22	Line	Paya Pasir	Paya Geli	11.53	11.91	16.58	2.0804800
Line23	Line	Binjai	Paya Geli	4.95	5.20	7.18	0.8813009
Line24	Line	Paya Geli	Titi Kuning	74.62	78.68	108.44	1.3336350
Line26	Line	Titi Kuning	Namorambe	12.44	13.10	18.07	0.2222966
Line28	Line	Percut	KIM II	0.78	0.78	1.11	0.1506005
Line30	Line	Namorambe	Paya Geli	27.45	29.01	39.94	0.4910967
Line32	Line	Gis Listrik	Titi Kuning	1.62	1.69	2.34	0.2860171
Line34	Line	Titi Kuning	Brastagi	70.20	73.45	101.60	12.4408400
Line36	Line	Batu Ginging	Paya Geli	5.78	6.00	8.33	0.2005605
Line38	Line	Pangkalan Brandan	Bus6	2.58	2.67	3.71	0.4548262
Line40	Line	Pangkalan Susu	Bus7	24.31	24.59	34.57	113.9834000
Line42	Line	Brastagi	Dairi	457.67	491.67	671.71	7.9730320
Line44	Line	Lamhotma	Belawan PLTU	3.81	4.09	5.59	0.0663357
Line46	Line	Sumbagut 1	Galang	20.53	20.69	29.15	8.5024010
Line48	Line	Namorambe	Galang	57.39	58.45	81.91	10.8424400
Line50	Line	Binjai	Galang	60.00	61.20	85.71	128.1181000
Line52	Line	Galang	Tanjung Morawa	606.67	616.37	864.85	114.5229000

Project:	ETAP	Page:	9
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3---		Config.:	Normal

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVA Base			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Line54	Line	Sei Rotan	KIM	58.67	60.22	84.07	1.0981910
Line55	Line	Kualanamu	Tanjung Morawa	4.95	5.20	7.18	0.8813009
Line57	Line	KIM	KIM II	1.96	2.02	2.81	0.0369308
Line59	Line	KIM II	Sei Rotan	49.00	50.33	70.25	0.9232707
Line61	Line	Pancing	KIM II	9.60	9.69	13.64	1.9521720
Line63	Line	Sei Kera	Denai	4.26	4.38	6.11	0.0803614
Line65	Line	Pancing	Sei Kera	5.01	5.16	7.19	0.0945428
Line66	Line	Pancing	Denai	5.01	5.16	7.19	0.0945428
Line68	Line	Perbaungan	Kualanamu	2.58	2.67	3.71	0.4548262
Line70	Line	Paya Geli	Selayang	2.08	2.16	3.00	0.3684103
Line72	Line	Namorambe	Selayang	2.08	2.16	3.00	0.3684103
Line73	Line	Batu Gingging	Gis Listrik	0.64	0.67	0.93	0.1137071
Line74	Line	KIM	Mabar	14.34	14.76	20.58	2.5873670
Line75	Line	Sei Kera	Teladan	0.66	0.68	0.95	0.1214037
Line77	Line	Teladan	Titi Kuning	0.59	0.61	0.85	0.1057687
Line78	Line	Paya Geli	Helvetia	0.64	0.67	0.93	0.1149660
Line81	Line	Glugur	Helvetia	0.64	0.67	0.93	0.1149660
Line83	Line	Binjai	Kuala	2.08	2.16	3.00	0.3684103
Line84	Line	Pangkalan Brandan	Tanjung Pura	16.00	16.78	23.18	2.8426670
Line85	Line	Binjai	Tanjung Pura	16.00	16.78	23.18	2.8426670

Project:	ETAP	Page:	10
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3--		Config.:	Normal

LOAD FLOW REPORT

Bus ID	Voltage			Generation		Load		ID	Load Flow				XFMR	
	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar		MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
Batu Ginggaing	150.000	95.618	-0.9	0.000	0.000	73.634	45.634	Paya Geli	3.219	-10.442	44.0	-29.5		
								Gis Listrik	-76.853	-35.193	340.3	90.9		
* Belawan PLTGU	150.000	100.000	0.0	44.125	2.334	0.000	0.000	Binjai	23.872	-8.207	97.2	-94.6		
								Sei Rotan	20.254	10.541	87.9	88.7		
* Belawan PLTU	150.000	100.000	0.0	8.455	5.138	0.000	0.000	Paya Pasir	0.000	-0.053	0.2	0.0		
								Lanhotma	8.455	5.191	38.2	85.2		
Binjai	150.000	94.984	-5.3	0.000	0.000	48.312	29.941	Pangkalan Brandan	4.033	-2.429	19.1	-85.7		
								Belawan PLTGU	-22.100	4.697	91.6	-97.8		
								Paya Geli	-71.513	51.935	358.1	-80.9		
								Galsang	-0.922	-79.235	321.1	1.2		
								Kuala	26.551	16.220	126.1	85.3		
								Tanjung Pura	27.396	15.863	128.3	86.5		
								Bus7	-11.756	-36.991	157.3	30.3		
* Brastagi	150.000	100.000	0.0	51.774	20.275	51.774	32.086	Wampu	0.000	-1.604	6.2	0.0		
								Titi Kuning	0.000	-6.220	23.9	0.0		
								Dairi	0.000	-3.987	15.3	0.0		
Bus6	150.000	91.175	-5.6	0.000	0.000	0.000	0.000	Pangkalan Brandan	28.357	9.674	126.5	94.6		
								Pangkalan Susu	-28.357	-9.674	126.5	94.6	-5.000	
Bus7	275.000	101.485	-4.2	0.000	0.000	0.000	0.000	Pangkalan Susu	-11.817	-39.752	85.8	28.5		
								Binjai	11.817	39.752	85.8	28.5		
* Dairi	150.000	100.000	0.0	7.871	0.891	7.871	4.878	Brastagi	0.000	-3.987	15.3	0.0		
Denai	150.000	88.235	-2.3	0.000	0.000	47.151	29.221	Tanjung Morawa	32.120	6.760	143.2	97.9		
								Sei Rotan	2.585	1.650	13.4	84.3		
								Sei Kera	-83.335	-40.619	404.4	89.9		
								Pancing	1.479	2.987	14.5	44.4		
Galang	150.000	110.146	-12.1	0.000	0.000	16.190	10.034	Sumbangat 1	-23.195	83.648	303.3	-26.7		
								Namorambe	1.605	25.487	89.2	6.3		
								Binjai	3.985	-53.151	186.3	-7.5		
								Tanjung Morawa	1.414	-66.018	230.7	-2.1		
Gis Listrik	150.000	96.382	-0.7	0.000	0.000	60.918	37.753	Titi Kuning	-138.274	-73.362	625.1	88.3		
								Batu Ginggaing	77.356	35.609	340.1	90.8		

Project:	ETAP	Page:	11
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3		Config.:	Normal

Bus ID	Voltage			Generation		Load		ID	Load Flow				XFMR	
	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar		MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
* Glugur	150.000	100.000	0.0	408.815	162.748	90.746	56.239	Paya Geli	37.759	10.552	150.9	96.3		
								Helvetia	280.311	95.956	1140.4	94.6		
Helvetia	150.000	97.561	-0.7	0.000	0.000	86.771	53.776	Paya Geli	187.882	36.440	755.0	98.2		
								Glugur	-274.653	-90.215	1140.5	95.0		
KIM	150.000	87.133	-2.4	0.000	0.000	75.917	47.049	Percut	-38.174	-26.050	204.2	82.6		
								Sei Rotan	-0.466	-0.784	4.0	51.1		
								KIM II	8.574	4.653	43.1	87.9		
								Mabar	-45.851	-24.869	230.4	87.9		
KIM II	150.000	86.833	-2.5	0.000	0.000	78.689	48.767	Percut	-62.386	-38.967	326.1	84.8		
								KIM	-8.550	-4.655	43.2	87.8		
								Sei Rotan	-0.899	-0.970	5.9	68.0		
								Pancing	-6.853	-4.174	35.6	85.4		
Kuala	150.000	94.030	-5.5	0.000	0.000	26.526	16.316	Binjai	-26.327	-16.316	126.8	85.0		
Kualanamu	150.000	79.196	-5.3	0.000	0.000	22.071	13.678	Tanjung Morawa	-44.207	-27.839	253.9	84.6		
								Perbaungan	22.136	14.160	127.7	84.2		
Lamborna	150.000	99.464	-0.1	0.000	0.000	8.418	5.217	Belawan PLTU	-8.418	-5.217	38.3	85.0		
Mabar	150.000	98.798	-0.2	0.000	0.000	32.341	20.043	Paya Pasir	-83.240	-47.863	374.1	86.7		
								KIM	50.898	27.820	226.0	87.7		
Namorambe	150.000	93.645	-2.3	0.000	0.000	48.451	30.027	Titi Kuning	-37.626	-9.205	159.2	97.1		
								Paya Geli	-6.661	-1.718	28.3	96.8		
								Galang	3.270	-31.852	131.6	-10.2		
								Selayang	-7.434	12.748	60.7	-50.4		
Pancing	150.000	87.975	-2.2	0.000	0.000	59.582	36.926	Percut	7.025	0.887	31.0	99.2		
								KIM II	6.928	2.758	32.6	92.9		
								Sei Kera	-72.064	-37.519	355.5	88.7		
								Densai	-1.472	-3.053	14.8	43.4		
Pangkalan Brandan	150.000	90.087	-5.9	0.000	0.000	21.702	13.450	Binjai	-3.853	-7.444	35.8	46.0		
								Bus6	-28.078	-9.758	127.0	94.5		
								Tanjung Pura	10.229	3.752	46.6	93.9		
* Pangkalan Susu	275.000	100.000	0.0	41.423	-61.847	0.000	0.000	Bus7	12.994	-74.747	159.3	-17.1		
								Bus6	28.429	12.900	65.5	91.1		
Paya Geli	150.000	96.077	-1.4	0.000	0.000	88.881	55.083	Glugur	-36.510	-9.548	151.2	96.7		
								Paya Pasir	-25.553	-7.638	106.8	95.8		

Project: **ETAP** Page: 12
 Location: 19.0.1C Date: 13-10-2023
 Contract: SN:
 Engineer: Study Case: LF Revision: Base
 Filename: Sempro 3-- Config.: Normal

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow				XFMR	
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
								Binjai	75.821	-48.216	360.0	-84.4	
								Titi Kuning	-3.896	-1.677	17.0	91.9	
								Namorambe	6.807	1.430	27.9	97.9	
								Batu Ginggaing	-3.144	10.335	43.3	-29.1	
								Selayang	82.997	34.212	359.6	92.5	
								Helvetia	-185.402	-33.982	755.1	98.4	
* Paya Pasir	150.000	100.000	0.0	180.813	94.581	24.081	14.924	Belawan PLTU	0.000	-0.053	0.2	0.0	
								Sei Rotan	46.222	24.599	201.5	88.3	
								Mabar	84.086	48.574	373.8	86.6	
								Paya Geli	26.425	6.537	104.8	97.1	
Perbaungan	150.000	77.994	-5.5	0.000	0.000	26.748	16.577	Sei Rotan	-4.897	-2.431	27.0	89.6	
								Kualanamu	-21.850	-14.146	128.5	83.9	
Percut	150.000	87.745	-2.3	0.000	0.000	0.000	0.000	KIM	38.408	26.161	203.8	82.6	
								Pancing	-7.009	-1.234	31.2	98.5	
								Sei Rotan	38.374	1.643	168.5	99.9	
								Sumbagut I	-132.721	-65.984	650.2	89.5	
								KIM II	62.947	39.413	325.8	84.8	
Sei Kera	150.000	94.301	-1.0	0.000	0.000	63.683	39.467	Denai	88.038	45.388	404.3	88.9	
								Pancing	76.337	41.835	355.3	87.7	
								Teladan	-228.058	-126.690	1064.8	87.4	
Sei Rotan	150.000	87.701	-2.4	0.000	0.000	60.081	37.235	Perbaungan	5.386	1.655	24.7	95.6	
								Denai	-2.572	-1.780	13.7	82.2	
								Percut	-38.355	-1.639	168.5	99.9	
								Paya Pasir	-41.451	-22.389	206.8	88.0	
								Titi Kuning	-26.498	-13.886	131.3	88.6	
								Belawan PLTGU	-18.156	-9.685	90.3	88.2	
								Tanjung Morawa	60.189	10.267	268.0	98.6	
								KIM	0.469	-0.053	2.1	-99.4	
								KIM II	0.907	0.275	4.2	95.7	
Selayang	150.000	93.514	-2.0	0.000	0.000	73.692	45.670	Paya Geli	-81.178	-32.654	360.1	92.8	
								Namorambe	7.487	-13.016	61.8	-49.9	
* Sumbagut I	150.000	100.000	0.0	185.508	2.454	0.000	0.000	Percut	148.055	81.145	649.8	87.7	
								Galang	37.453	-78.691	335.4	-43.0	

Project:	ETAP	Page:	13
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3~		Config.:	Normal

Bus ID	Voltage			Generation		Load		ID	Load Flow				XFMR	
	kV	% Mag	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar		MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
Tanjung Morawa	150.000	83.775	-4.5	0.000	0.000	42.904	26.590	Denai	-30.720	-5.387	143.3	98.5		
								Sci Rotan	-57.815	-7.771	268.0	99.1		
								Galang	-0.718	-42.933	197.3	1.7		
								Kualaramu	46.349	29.502	252.4	84.4		
Tanjung Pura	150.000	87.362	-6.6	0.000	0.000	35.518	22.012	Pangkolan Brandan	-9.975	-5.725	50.7	86.7		
								Binjai	-25.543	-16.288	133.5	84.3		
Teladan	150.000	96.831	-0.5	0.000	0.000	89.844	55.680	Sei Kera	233.146	131.816	1064.6	87.1		
								Titi Kuning	-322.989	-187.496	1484.5	86.5		
* Titi Kuning	150.000	100.000	0.0	635.990	350.526	88.306	54.727	Sei Rotan	29.550	16.189	129.7	87.7		
								Paya Geli	4.028	0.534	15.6	99.1		
								Namorambe	39.751	11.236	159.0	96.2		
								Gis Listrik	142.546	77.545	624.6	87.8		
								Brastagi	0.000	-6.220	23.9	0.0		
								Teladan	331.808	196.516	1484.3	86.0		
* Wampu	150.000	100.000	0.0	0.000	-1.604	0.000	0.000	Brastagi	0.000	-1.604	6.2	0.0		

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)
Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Project:	ETAP	Page:	14
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3--		Config.:	Normal

Bus Loading Summary Report

Bus	Directly Connected Load										Total Bus Load				
	ID	kV	Rated Amp	Constant kVA		Constant Z		Constant I		Generic		MVA	% PF	Amp	Percent Loading
				MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar				
Batu Ginggaing	150.000				73.634	45.634					89.380	86.0	359.8		
Belawan PLTGU	150.000										45.367	97.3	174.6		
Belawan PLTU	150.000										9.922	85.2	38.2		
Binjai	150.000				48.312	29.941					159.302	66.7	645.5		
Brastagi	150.000				51.774	32.086					60.910	85.0	234.4		
Bus6	150.000										29.962	94.6	126.5		
Bus7	275.000										41.471	28.5	85.8		
Dairi	150.000				7.871	4.878					9.260	85.0	35.6		
Denai	150.000				47.151	29.221					92.707	89.9	404.4		
Galang	150.000				16.190	10.034					121.405	19.1	424.2		
Gis Listrik	150.000				60.918	37.753					156.530	88.3	625.1		
Glugur	150.000				90.746	56.239					440.019	92.9	1693.6		
Helvetia	150.000				86.771	53.776					289.090	95.0	1140.5		
KIM	150.000				75.917	47.049					99.055	85.3	437.6		
KIM II	150.000				78.689	48.767					92.575	85.0	410.4		
Kuala	150.000				26.327	16.316					30.972	85.0	126.8		
Kualamamu	150.000				22.071	13.678					52.242	84.6	253.9		
Lamhotma	150.000				8.418	5.217					9.903	85.0	38.3		
Mabar	150.000				32.341	20.043					96.020	86.7	374.1		
Namorambe	150.000				48.451	30.027					67.117	77.1	275.9		
Pancing	150.000				59.582	36.926					83.985	87.6	367.4		
Pangkalan Brandan	150.000				21.702	13.450					36.270	88.0	155.0		
Pangkalan Susu	275.000										85.457	48.5	179.4		
Paya Geli	150.000				88.881	55.083					273.837	92.9	1097.0		
Paya Pasir	150.000				24.081	14.924					204.081	88.6	785.5		
Perbaungan	150.000				26.748	16.577					31.468	85.0	155.3		
Percut	150.000										155.057	90.1	680.2		
Sei Kera	150.000				63.683	39.467					260.884	87.4	1064.8		
Sei Rotan	150.000				60.081	37.235					136.311	93.2	598.2		
Selayang	150.000				73.692	45.670					93.143	87.2	383.4		
Sumbangut I	150.000										202.479	91.6	779.3		
Tanjung Morawa	150.000				42.904	26.590					105.415	84.7	484.3		
Tanjung Pura	150.000				35.518	22.012					41.786	85.0	184.1		
Teladan	150.000				89.844	55.680					373.466	86.5	1484.5		
Titi Kuning	150.000				88.306	54.727					729.213	87.2	2806.7		
Wampu	150.000										1.604		6.2		

* Indicates operating load of a bus exceeds the bus critical limit (100.0% of the Continuous Ampere rating).
 # Indicates operating load of a bus exceeds the bus marginal limit (95.0% of the Continuous Ampere rating).

Project:	ETAP	Page:	15
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Sempro 3--	Config.:	Normal

Branch Loading Summary Report

CKT / Branch		Busway / Cable & Reactor			Transformer				
ID	Type	Ampacity (Amp)	Loading		Capability (MVA)	Loading (input)		Loading (output)	
			Amp	%		MVA	%	MVA	%
T6	Transformer				37.752	31.219	82.7	29.962	79.4
T7	Transformer				75.600	41.471	54.9	38.814	51.3

* Indicates a branch with operating load exceeding the branch capability.

Project:	ETAP	Page:	16
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3--		Config.:	Normal

Branch Losses Summary Report

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
Line1	-38.174	-26.050	38.408	26.161	233.5	111.1	87.1	87.7	0.61
Line10	0.000	-1.604	0.000	-1.604		-3209.0	100.0	100.0	
Line11	46.222	24.599	-41.451	-22.389	4771.0	2209.7	100.0	87.7	12.30
Line12	-132.721	-65.984	148.055	81.145	15334.2	15160.8	87.7	100.0	12.25
Line13	-26.498	-13.886	29.550	16.189	3051.7	2302.8	87.7	100.0	12.30
Line14	37.759	10.552	-36.510	-9.548	1248.4	1004.4	100.0	96.1	3.92
Line15	4.033	-2.429	-3.853	-7.444	179.6	-9873.4	95.0	90.1	4.90
Line16	23.872	-8.207	-22.100	4.697	1771.5	-3509.8	100.0	95.0	5.02
Line17	20.254	10.541	-18.156	-9.685	2097.4	856.7	100.0	87.7	12.30
Line18	60.189	10.267	-57.815	-7.771	2374.3	2495.4	87.7	83.8	3.93
Line21	-83.240	-47.863	84.086	48.574	845.7	710.8	98.8	100.0	1.20
Line22	-25.553	-7.638	26.425	6.537	871.6	-1100.3	96.1	100.0	3.92
Line23	-71.513	51.935	75.821	-48.216	4308.0	3719.1	95.0	96.1	1.09
Line24	-3.896	-1.677	4.028	0.534	131.8	-1143.3	96.1	100.0	3.92
Line26	-37.626	-9.205	39.751	11.236	2125.9	2030.7	93.6	100.0	6.35
Line28	-62.386	-38.967	62.947	39.413	560.9	446.1	86.8	87.7	0.91
Line3	0.000	-0.053	0.000	-0.053		-105.9	100.0	100.0	
Line30	-6.661	-1.718	6.807	1.430	145.9	-287.7	93.6	96.1	2.43
Line32	-138.274	-73.362	142.546	77.545	4272.8	4182.7	96.4	100.0	3.62
Line34	0.000	-6.220	0.000	-6.220		-12440.8	100.0	100.0	
Line36	3.219	-10.442	-3.144	10.335	74.2	-107.2	95.6	96.1	0.46
Line38	28.357	9.674	-28.078	-9.758	279.5	-84.5	91.2	90.1	1.09
Line4	7.025	0.887	-7.009	-1.234	16.2	-346.8	88.0	87.7	0.23
Line40	-11.817	-39.752	12.994	-74.747	1176.8	-114498.3	101.5	100.0	1.48
Line42	0.000	-3.987	0.000	-3.987		-7973.0	100.0	100.0	
Line44	8.455	5.191	-8.418	-5.217	37.7	-25.6	100.0	99.5	0.54
Line46	-23.195	83.648	37.453	-78.691	14258.3	4957.5	110.1	100.0	10.15
Line48	1.605	25.487	3.270	-31.852	4875.2	-6365.4	110.1	93.6	16.50
Line50	-0.922	-79.235	3.985	-53.151	3063.1	-132386.0	95.0	110.1	15.16
Line52	1.414	-66.018	-0.718	-42.933	696.0	-108950.5	110.1	83.8	26.37
Line54	-0.466	-0.784	0.469	-0.053	2.7	-836.4	87.1	87.7	0.57
Line55	-44.207	-27.839	46.349	29.502	2141.6	1663.1	79.2	83.8	4.58
Line57	8.574	4.653	-8.550	-4.655	24.5	-2.6	87.1	86.8	0.30
Line59	-0.899	-0.970	0.907	0.275	7.8	-695.1	86.8	87.7	0.87

Project:	ETAP	Page:	17
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Sempro 3--	Config.:	Normal

Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	% Drop in Vmag
Line6	-4.897	-2.431	5.386	1.655	488.7	-776.0	78.0	87.7	9.71
Line61	-6.853	-4.174	6.928	2.758	74.8	-1415.9	86.8	88.0	1.14
Line63	-83.335	-40.619	88.038	45.388	4702.8	4769.2	88.2	94.3	6.07
Line65	-72.064	-37.519	76.337	41.835	4273.9	4316.6	88.0	94.3	6.33
Line66	1.479	2.987	-1.472	-3.053	7.3	-65.9	88.2	88.0	0.26
Line68	22.136	14.160	-21.850	-14.146	285.5	14.3	79.2	78.0	1.20
Line7	32.120	6.760	-30.720	-5.387	1400.2	1372.7	88.2	83.8	4.46
Line70	82.997	34.212	-81.178	-32.654	1818.6	1557.4	96.1	93.5	2.56
Line72	-7.434	12.748	7.487	-13.016	52.6	-268.0	93.6	93.5	0.13
Line73	-76.853	-35.193	77.356	35.609	503.4	415.9	95.6	96.4	0.76
Line74	-45.851	-24.869	50.898	27.820	5047.5	2951.0	87.1	98.8	11.67
Line75	-228.058	-126.690	233.146	131.816	5087.8	5126.5	94.3	96.8	2.53
Line77	-322.989	-187.496	331.808	196.516	8818.4	9020.0	96.8	100.0	3.17
Line78	187.882	36.440	-185.402	-33.982	2480.2	2457.9	97.6	96.1	1.48
Line8	2.585	1.650	-2.572	-1.780	13.2	-129.4	88.2	87.7	0.53
Line81	280.311	95.956	-274.653	-90.215	5657.8	5740.6	100.0	97.6	2.44
Line83	26.551	16.220	-26.327	-16.316	224.4	-96.0	95.0	94.0	0.95
Line84	10.229	3.752	-9.975	-5.725	253.7	-1972.2	90.1	87.4	2.72
Line85	27.396	15.863	-25.543	-16.288	1852.3	-424.7	95.0	87.4	7.62
Line9	38.374	1.643	-38.355	-1.639	18.7	4.2	87.7	87.7	0.04
T6	-28.357	-9.674	28.429	12.900	71.7	3226.2	91.2	100.0	8.82
T7	-11.756	-36.991	11.817	39.752	61.3	2760.4	95.0	101.5	6.50
					114172.5	-323505.7			

* This Transmission Line includes Series Capacitor.

Project:	ETAP	Page:	18
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Scmpro 3	Config:	Normal

Alert Summary Report

	% Alert Settings	
	<u>Critical</u>	<u>Marginal</u>
<u>Loading</u>		
Bus	100.0	95.0
Cable / Busway	100.0	95.0
Reactor	100.0	95.0
Line	100.0	95.0
Transformer	100.0	95.0
Panel	100.0	95.0
Protective Device	100.0	95.0
Generator	100.0	95.0
Inverter/Charger	100.0	95.0
<u>Bus Voltage</u>		
OverVoltage	105.0	102.0
UnderVoltage	95.0	98.0
<u>Generator Excitation</u>		
OverExcited (Q Max.)	100.0	95.0
UnderExcited (Q Min.)	100.0	

Critical Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Binjai	Bus	Under Voltage	150.000	kV	142.476	95.0	3-Phase
Bus6	Bus	Under Voltage	150.000	kV	136.763	91.2	3-Phase
Denai	Bus	Under Voltage	150.000	kV	132.353	88.2	3-Phase
Galang	Bus	Over Voltage	150.000	kV	165.218	110.1	3-Phase
KIM	Bus	Under Voltage	150.000	kV	130.700	87.1	3-Phase
KIM II	Bus	Under Voltage	150.000	kV	130.249	86.8	3-Phase
Kuala	Bus	Under Voltage	150.000	kV	141.045	94.0	3-Phase
Kualanamu	Bus	Under Voltage	150.000	kV	118.794	79.2	3-Phase
Namorambe	Bus	Under Voltage	150.000	kV	140.468	93.6	3-Phase
Pancing	Bus	Under Voltage	150.000	kV	131.962	88.0	3-Phase
Pangkalan Brandan	Bus	Under Voltage	150.000	kV	135.130	90.1	3-Phase
Perbaungan	Bus	Under Voltage	150.000	kV	116.991	78.0	3-Phase
Percut	Bus	Under Voltage	150.000	kV	131.618	87.7	3-Phase
PLTA WAMPU	Generator	Under Excited	0.000	Mvar	-1.604	0.0	3-Phase
PLTA WAMPU	Generator	Under Power	0.000	MW	0.000	0.0	3-Phase

Project:	ETAP	Page:	19
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename:	Sempro 3~	Config.:	Normal

Critical Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
PLTD Glugur	Generator	Overload	32.700	MW	408.815	1250.2	3-Phase
PLTD Titi Kuning	Generator	Overload	24.840	MW	635.990	2560.3	3-Phase
PLTG Paya Pasir	Generator	Overload	26.500	MW	180.813	682.3	3-Phase
PLTP Sibayak	Generator	Overload	10.000	MW	51.774	517.7	3-Phase
PLTU Pangkalan Susu 1	Generator	Under Excited	0.000	Mvar	-20.616	0.0	3-Phase
PLTU Pangkalan Susu 2	Generator	Under Excited	0.000	Mvar	-20.616	0.0	3-Phase
PLTU Pangkalan Susu 3	Generator	Under Excited	0.000	Mvar	-20.616	0.0	3-Phase
Sci Kera	Bus	Under Voltage	150.000	kV	141.451	94.3	3-Phase
Sci Rotan	Bus	Under Voltage	150.000	kV	131.551	87.7	3-Phase
Selayang	Bus	Under Voltage	150.000	kV	140.270	93.5	3-Phase
Tanjung Morawa	Bus	Under Voltage	150.000	kV	125.663	83.8	3-Phase
Tanjung Pura	Bus	Under Voltage	150.000	kV	131.044	87.4	3-Phase

Marginal Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Batu Ginggaing	Bus	Under Voltage	150.000	kV	143.427	95.6	3-Phase
Gis Listrik	Bus	Under Voltage	150.000	kV	144.572	96.4	3-Phase
Helvetia	Bus	Under Voltage	150.000	kV	146.342	97.6	3-Phase
Paya Geli	Bus	Under Voltage	150.000	kV	144.115	96.1	3-Phase
Tebadan	Bus	Under Voltage	150.000	kV	145.247	96.8	3-Phase

Project:	ETAP	Page:	20
Location:	19.0.1C	Date:	13-10-2023
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: Sempro 3~		Config.:	Normal

SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND

	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	1564.774	575.496	1667.247	93.85 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0.000	0.000	0.000	
Total Demand:	1564.774	575.496	1667.247	93.85 Lagging
Total Motor Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Static Load:	1450.601	899.002	1706.590	85.00 Lagging
Total Constant I Load:	0.000	0.000	0.000	
Total Generic Load:	0.000	0.000	0.000	
Apparent Losses:	114.173	-323.506		
System Mismatch:	0.000	0.000		

Number of Iterations: 4

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat 4 pembangkit yang *overload* yaitu, PLTD Glugur, PLTG Paya Pasir, PLTD Titi Kuning, PLTP Sibayak dikarenakan pembangkit tidak sanggup melayani beban yang terdapat pada 4 pembangkit tersebut dan 1 pembangkit yang *underpower* dikarenakan kurangnya daya dari pembangkit lain.
2. Terdapat beberapa bus yang *undervoltage* yang disebabkan oleh beban lebih dan perubahan tegangan yang melewati batas minimum dan maksimum dari tegangan yang dipebolehkan
3. Terdapat bus yang *overvoltage* dikarenakan perubahan beban yang mendadak
4. Dengan perhitungan Newton Raphson pada ETAP 2019, dengan iterasi maksimum 4 dan *MVA tolerance convergence* sebesar 0,0001, terhitung daya aktif dan reaktif yang mengalir pada jaringan transmisi unit 1 Medan sebesar 1450,601 MW dan 889,002 Mvar dari Bus Batu Gingging – Bus Wampu.
5. *Overload* pada pembangkit karena terputusnya saluran dari transmisi unit 2 yang memiliki pembangkit dengan kapasitas besar.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya khususnya penelitian yang berhubungan dengan analisis aliran daya pada sistem kelistrikan transmisi unit 1 Medan dari Bus Batu Gingging – Bus Wampu, dilakukan dengan penambahan dari pembangkit lain yang terhubung dengan bus – bus tersebut.
2. Disarankan untuk lebih banyak pembangunan pembangkit – pembangkit lain agar dapat melayani beban yang semakin lama semakin bertambah
3. Untuk penelitian selanjutnya penulis memberikan saran untuk pengembangan lebih lanjut tentang analisis gangguan beban lebih.

DAFTAR PUSTAKA

- Chowdhury, S. H., Uddin, T., Saha, D., & Helal, A. (2021). Design of 2500 KVA 11/0.4 KV Distribution Substation Based on Load Flow Analysis Using ETAP Software. *International Journal of Material and Mathematical Sciences*, 3(6), 133–138.
- Darmawan, I., Abdurrahman Rafif, F., & Wahyu Wiratama, A. (2019). Simulasi Aliran Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (Pltmg) Badas Untuk Sistem Kelistrikan Sumbawa Besar Menggunakan Software Etap 16. *Jurnal Informatika, Teknologi Dan Sains*, 1(2), 111–116.
- Djalal, M. R., Saini, M., & Yunus, A. . S. (2021). Load Flow Analysis After the Entry of Renewable Power Plants in the Sulselrabar System. *Journal of Electrical Technology UMY*, 5(2), 80–87.
- Faruq, U., Ridho, A., Vrayulis, M., & Julio, E. (2021). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software Etap 12.6. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 06(1), 16–22.
- Ghiasi, M. (2018). A Detailed Study for Load Flow Analysis in Distributed Power System. *International Journal of Industrial Electronics, Control and Optimization* .© 2018 IECO..., 1(2), 153–161.
- Gustian, A. (2015). [1](Adib Gustian Nigara, Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik : 2015 :Hal 6) 7. 7–50.
- Hasibuan, A., Isa, M., Yusoff, M. I., & Rahim, S. R. A. (2020). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 3(1), 37–45.
- Jaleel, J. A., & Shabna, S. S. (2013). Load Flow Analysis and Reliability Evaluation of 220kV Kerala Power system. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 3(2), 558–563.
- Kapahi, R. (2017). Load Flow Analysis of 132 kV substation using ETAP Software. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(2), 770–773.
- Mahdi, N. M. (2013). Power flow analysis of Rafah governorate distribution network using ETAP software. *International Journal of Physical Sciences*,

1(2), 19–026.

- Mumtaz, M., Aamir, M., Ali, M., & Rehman, A. (2018). Load Flow Analysis of CIGRE Benchmark Model Using ETAP. *International Conference on Renewable, Applied and New Energy Technologies, November*, 19–22.
- Nigara, A. G., & Primadiyono, Y. (2015). Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4.0. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 7–10.
- Patil Electrical, B., & Namekar, S. (2018). Load Flow & Short Circuit Analysis of 132/33/11KV Substation using ETAP. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(11), 9943–9952.
- PLN. (n.d.). *Rencana usaha penyediaan tenaga listrik (ruptl) pt pln (persero)*.
- Prabhu, J. A. X., Nande, K. S., Shukla, S., & Ade, C. N. (2016). Design of electrical system based on Short Circuit study using ETAP for IEC projects. *2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems, ICPS 2016*.
- Santjiatodjaja, C. A., Patras, L. S., Mangindaan, G., & Elektro-ft, J. T. (2019). Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling. *Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 KV Gardu Induk Teling*, 8(1), 1–8.
- Shertuke, H. M. (n.d.). *Power Systems Analysis Illustrated with MATLAB and ETAP*.
- SULISTIYONO, D. (n.d.). *Perbandingan metode gauss - seidel, metode newton raphson dan metode fast decoupled dalam solusi aliran daya*.
- Zaka, F. (2022). “ Load Flow Analysis of 132 / 33kV GIS Substation Using Electrical Transient & Analysis Program (ETAP) ” Submitted by : August.
- Zeggai, A., & Benhamida, F. (2019). Power flow and Short circuit of 220 kV Substation using ETAP. *Proceedings of Algerian Large Electrical Network Conference, CAGRE 2019*, 158–163.

LEMBAR ASISTENSI



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Mhd Arjuna Satria Kirana
NPM : 1907220038
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Sistem Kelistrikan Berdasarkan Aliran Beban Menggunakan Metode Newton Raphson Berbasis Software ETAP 2019"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	25/02 2023	Konsultasi Judul	Ruf.
	28/02 2023	Acc BAB 1	Ruf.
	03/03 2023	Acc BAB 2	Ruf.
	06/03 2023	Acc BAB 3	Ruf.
	09/03 2023	Konsultasi BAB 1, 2, dan 3 untuk Sempro	Ruf.
		Acc sempro 12/3 2023	Ruf.

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN SEMINAR HASIL

Nama : Mhd Arjuna Satria Kirana
NPM : 1907220038
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis Software Etap 2019"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	7/7 2023	Revisi Bab 3	
2	11/8 2023	Acc Bab 3	
3	18/8 2023	Revisi Bab 4	
4	23/8 2023	Acc Bab 4	
5	31/8 2023	Pembahasan Bab 5	
6		Acc semhas	

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Mhd Arjuna Satria Kirana
NPM : 1907220038
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis *Software* ETAP 2019"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	11/9 2023	Dislusi hasil sembah & Revisi	
2	17/9 2023	UATC sedang	

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Mhd Arjuna Satria Kirana
Alamat : JL. Kawat VI No.3A Tanjung Mulia Hilir
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Umur : 22 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Tempat, Tgl. Lahir : Medan, 23 Mei 2001
Tinggi/Berat Badan : 167/62
Kewarganegaraan : Indonesia
No. Hp : 085763425019
Email : arjunasatria@gmail.com
Instagram : mhd_arjuna_sk

ORANG TUA

Nama Ayah : Nurgono
Agama : Islam
Nama Ibu : Syafitri Nasution
Agama : Islam
Alamat : JL. Kawat VI No.3A Tanjung Mulia Hilir

LATAR BELAKANG PENDIDIKAN

2007-2013 : SD Budi Mulia
2013-2016 : SMP Pertiwi Medan
2016-2019 : SMA Pertiwi Medan
2019-2023 : Tercatat Sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)