

**ANALISA SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 KV SENIPAH-4 ULP
SAMBOJA KABUPATEN KUTAI KERTANEGARA DENGAN
MENGUNAKAN ETAP 12.6**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA STRATA SATU (S1) PADA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



**DISUSUN OLEH :
HENDRI IRWANTO
NIM : 30602200165**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

**ANALYSIS OF TECHNICAL LOSSES ON 20 kV SENIPAH-4 FEEDER
AT ULP SAMBOJA KUTAI KARTANEGARA REGENCY USING ETAP
12.6**

FINAL PROJECT

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung



**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 KV SENIPAH-4 ULP SAMBOJA KABUPATEN KUTAI KERTANEGARA DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6” ini disusun oleh:

Nama : HENDRI IRWANTO
NIM : 30602200165
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : senin
Tanggal : 09 Juni 2025

Pembimbing I

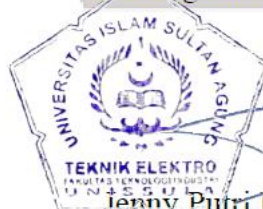


Ir. Ida Widiastuti, M.T.

NIDN:0005036501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “*ANALISA SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 KV SENIPAH 4 ULP SAMBOJA KABUPATEN KUTAI KERTANEGARA DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6*” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : SENIN

Tanggal : 09 Juni 2025

Ketua Tim Penguji

Tanda Tangan

Dr.Ir.H Sukarno Budi Utomo,M.T
NIDN 0619076401

Penguji 1

Dr.Gunawan,S.T.,M.T.
NIDN 0607117101

Penguji 2

Ir. Ida Widiastuti,M.T.
NIDN 0005036501

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan dibawah ini Menyatakan bahwa :

Nama : Hendri Irwanto

NIM : 30602200165

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir yang berjudul "**ANALISA SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 KV SENIPAH-4 ULP SAMBOJA KABUPATEN KUTAI KERTANEGARA DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6**" disusun sebagai bagian dari pemenuhan syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Tugas akhir yang saya buat bukan merupakan hasil tiruan atau duplikasi dari Tugas Akhir yang sudah dipublikasikan untuk.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggungjawab

Samboja, Juni 2025

Yang Menyatakan



Hendri Irwanto
NIM 30602200165

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hendri Irwanto
NIM : 30602200165
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul “*ANALISA SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 KV SENIPAH-4 ULP SAMBOJA KABUPATEN KUTAI KERTANEGARA DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6*” dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, Juni 2025

Yang Menyatakan

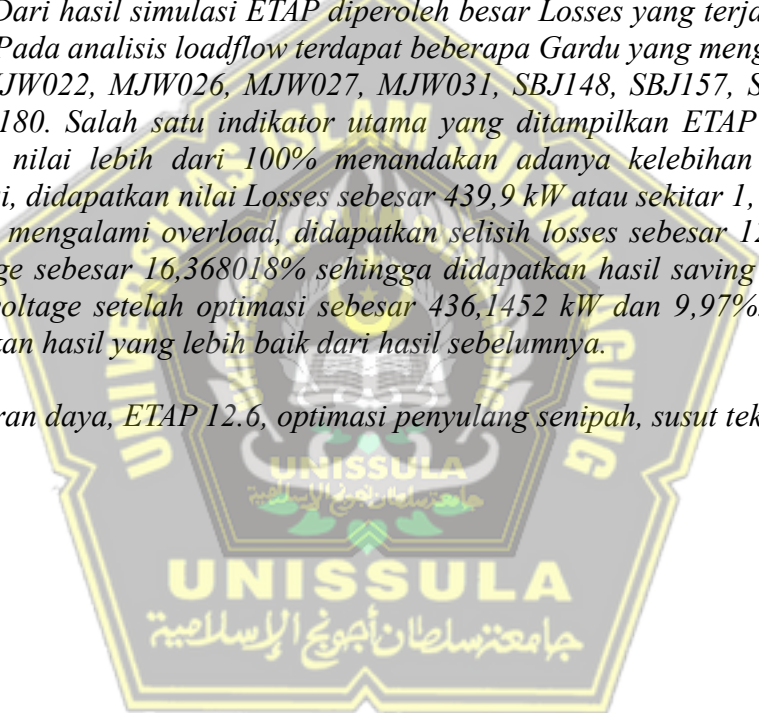


Hendri Irwanto
NIM 30602200165

ABSTRAK

Dalam proses pendistribusian energi listrik dari pembangkit hingga ke konsumen, terjadi susut daya yang menyebabkan penurunan kualitas energi. Permasalahan susut daya berdampak langsung terhadap efisiensi operasional dan kerugian finansial perusahaan penyedia tenaga listrik seperti PT PLN (Persero). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi besarnya susut teknis pada Penyulang 20 kV Senipah-4 yang merupakan bagian dari Unit Layanan Pelanggan (ULP) Samboja. Penyulang ini merupakan salah satu penyulang utama yang disuplai oleh Gardu Induk Senipah. Berdasarkan data neraca energi tahun 2024, diketahui bahwa total susut energi pada ULP Samboja mencapai 8,05%, dengan susut teknis sebesar 6,56% dan susut non-teknis sebesar 1,49%. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perhitungan manual (I^2R) dan simulasi jaringan distribusi menggunakan software ETAP 12.6. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan gambaran sistematis terhadap kondisi jaringan, analisis aliran daya, drop tegangan, dan titik-titik kritis pada penyulang. Dari hasil simulasi ETAP diperoleh besar Losses yang terjadi adalah 719,8 kW sekitar 2,8%. Pada analisis loadflow terdapat beberapa Gardu yang mengalami Overload yaitu MJW011, MJW022, MJW026, MJW027, MJW031, SBJ148, SBJ157, SBJ159, SBJ166, SBJ177, dan SBJ180. Salah satu indikator utama yang ditampilkan ETAP adalah nilai % Loading, dimana nilai lebih dari 100% menandakan adanya kelebihan beban. Setelah dilakukan optimasi, didapatkan nilai Losses sebesar 439,9 kW atau sekitar 1,72%. Sedangkan pada Gardu yang mengalami overload, didapatkan selisih losses sebesar 12,31445 kW dan selisih drop voltage sebesar 16,368018% sehingga didapatkan hasil saving kW dan kondisi persentase drop voltage setelah optimasi sebesar 436,1452 kW dan 9,97%. Hasil optimasi tersebut menunjukkan hasil yang lebih baik dari hasil sebelumnya.

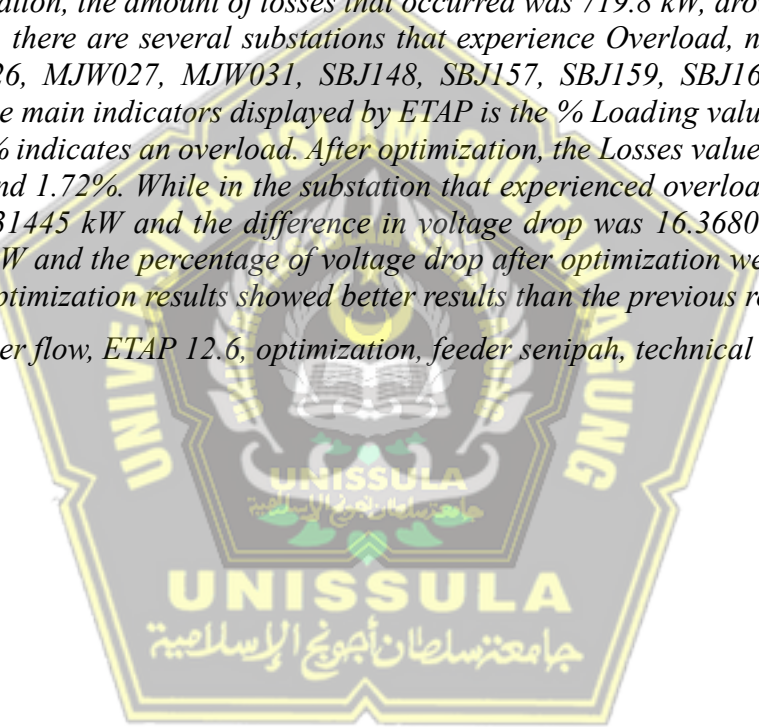
Kata kunci — Aliran daya, ETAP 12.6, optimasi penyulang senipah, susut teknis, gardu



ABSTRACT

In the process of distributing electrical energy from the generator to the consumer, there is a power losses that causes a decrease in energy quality. The problem of power losses has a direct impact on operational efficiency and financial losses of electricity providers such as PT PLN (Persero). This study aims to analyze and evaluate the amount of technical losses in the 20 kV Senipah-4 Feeder which is part of the Samboja Customer Service Unit (ULP). This feeder is one of the main feeders supplied by the Senipah Main Substation. Based on the 2024 energy balance data, it is known that the total energy losses in the Samboja ULP reached 8.05%, with technical losses of 6.56% and non-technical losses of 1.49%. The methodology used in this study is manual calculation (P²R) and distribution network simulation using ETAP 12.6 software. The simulation was carried out to obtain a systematic picture of network conditions, power flow analysis, voltage drop, and critical points on the feeder. From the results of the ETAP simulation, the amount of losses that occurred was 719.8 kW, around 2.8%. In the loadflow analysis, there are several substations that experience Overload, namely MJW011, MJW022, MJW026, MJW027, MJW031, SBJ148, SBJ157, SBJ159, SBJ166, SBJ177, and SBJ180. One of the main indicators displayed by ETAP is the % Loading value, where a value of more than 100% indicates an overload. After optimization, the Losses value was obtained at 439.9 kW or around 1.72%. While in the substation that experienced overload, the difference in losses was 12.31445 kW and the difference in voltage drop was 16.368018% so that the results of saving kW and the percentage of voltage drop after optimization were 436.1452 kW and 9.97%. The optimization results showed better results than the previous results.

Keywords — Power flow, ETAP 12.6, optimization, feeder senipah, technical losses



KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah subhanahu wa ta'ala karena dengan karunia rahmat dan hidayah-Nya saya masih memiliki kesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat walafiat. Semoga Shalawat dan Salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Yaa Rabbalalamin.

Penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Program Studi Strata Satu (S1) Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam proses penyusunan penelitian ini, tentu banyak pihak yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan Jazakumullah Khoiron serta terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., M.Hum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Novi Mariyana, ST., MT., IPU., ASEAN, Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Ir. Ida Widiastuti, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran serta kebijaksanaan dalam memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan penelitian hingga selesai.
5. Seluruh Dosen jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang sudah memberikan ilmu, wawasan, dan arahan selama masa perkuliahan. Serta seluruh Staff Teknik Elektro yang selalu siap membantu dalam berbagai urusan administratif dan teknis selama masa perkuliahan.
6. Bapak, Ibu serta Saudara-saudara saya tercinta atas dukungan kepada saya berupa kasih sayang, keridhoan, doa, dan motivasi yang telah diberikan.
7. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan moral, semangat, serta saran dan kritik yang membangun. Kebersamaan dan kerja sama kalian sangat membantu dalam menjalani perkuliahan.

8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan hingga selesainya penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis.
9. Terimakasih juga kepada keluarga yang sudah mensupport membantu dalam seluruh menjalankan pendidikan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan penulisan Tugas Akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan tulus dan terbuka menerima segala kritik serta saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Pada akhirnya penulis berharap semoga hasil dari Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Semoga Allah SWT senantiasa membimbing kita untuk tetap rendah hati dalam menyikapi setiap ilmu yang kita peroleh. Aamiin ya Rabbal 'alamin.

Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Samboja, juni 2025

Penulis

Hendri Irwanto



MOTO

“ Dan barang yang menghendaki kehidupan akhirat dan berusaha kearah itu dengan sungguh – sedang ia adalah mukmin, maka mereka itu adalah orang – orang yang usahanya dibalasi dengan baik. (QS. Al israa : 19).

“ Dan barang siapa datang kepada Tuhan dalam keadaan beriman, lagi sungguh – sungguh telah beramal saleh, maka mereka itulah orang – orang yang memperoleh tempat – tempat yang tinggi (mulia). (QS. Thaahaa : 75).

Hal terindah dalam hidup kita adalah misteri. Misteri adalah sumber semua seni sejati dan semua ilmu pengetahuan. (Albert Einstein)

Hanya 5 % manusia yang berpikir. Hanya 10% dari mereka merasa telah berpikir. Sisanya yang 85% milih mati daripada berpikir. (Thomas A. Edison)



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
MOTO.....	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori	12
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik	12
2.3 Jaringan Distribusi.....	14
2.3.1 Sistem Radial.....	15
2.3.2 Sistem Loop.....	16
2.3.3 Sistem Jaringan Grid	17
2.3.4 Sistem Jaringan Spindel	18
2.4 Gardu Distribusi	18
2.4.1 Gardu Beton.....	19
2.4.2 Gardu Cantol	20
2.4.3 Gardu Portal.....	21
2.5 Transformator	21
2.5.1 Trafo Distribusi.....	22

2.5.2	Rugi Transformator	23
2.6	Penghantar Jaringan Distribusi.....	25
2.6.1	Jaringan Hantar Udara.....	26
2.6.2	Jaringan Hantaran Bawah Tanah	27
2.7	Susut Jaringan Distribusi.....	27
2.8	Susut Jaringan.....	29
2.8.1	Susut Non Teknis.....	30
2.8.2	Susut Teknis.....	30
2.9	Metode Newton Rapshon	31
2.10	Sistem Distribusi ULP Samboja	32
2.11	ETAP.....	36
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1	Metode Penelitian.....	40
3.2	Jenis Penelitian	40
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.4	Diagram Alur Pelaksanaan	41
3.5	Teknik Pengumpulan Data.....	42
3.6	Teknik Analisis Data.....	44
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Deskripsi Data	46
4.1.1	Prosedur Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 12.6	46
4.2	Studi Kasus Aliran Daya	52
4.2.1	Hasil Simulasi Analisis Load Flow	56
4.2.2	Simulasi Optimasi Aliran Daya	58
4.3	Analisis Data	62
4.3.1	Perhitungan Persentase Susut Daya Pada Saluran.....	62
4.3.2	Perhitungan Susut Daya Pada Setiap Gardu yang mengalami <i>Overload</i>	63
4.3.3	Perhitungan Keseimbangan Beban Trafo	64
4.3.4	Perhitungan Selisih Susut Daya.....	64
4.3.5	Perhitungan Selisih Persentase <i>Drop voltage</i>	65
4.4	Pembahasan	66
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran.....	69

DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Tinjauan Pustaka.....	7
Tabel 2.2 Kapasitas Trafo distribusi.....	22
Tabel 2.3 Neraca Produksi dan Penjualan.....	32
Tabel 3.1 Data Aset Dan Penyulang Senipah-01	42
Tabel 3.2 Data dan Asset Penyulang Senipah 4.....	42
Tabel 3.3 Pengukuran Beban Trafo.....	62
Tabel 4.1 Data Transformator SNP 4(1)	49
Tabel 4.2 Data Transformator SNP 4 (2)	50
Tabel 4.3 Data Transformator SNP 4 (3)	51
Tabel 4.4 Hasil Analisis Load Flow (1)	56
Tabel 4.5 Hasil Analisis Load Flow (2)	57
Tabel 4.6 Gardu Yang Mengalami Overload.....	58
Tabel 4.7 Hasil Setelah Optimasi (1).....	59
Tabel 4.8 Hasil Setelah Optimasi (2).....	60
Tabel 4.9 Pengukuran Beban Trafo.....	62
Tabel 4.10 Tabel <i>Losses</i> Pada Setiap Saluran Gardu <i>Overload</i>	63
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pembebanan.....	64
Tabel 4.12 Selisih <i>Losses</i> Pada Gardu <i>Overload</i>	65
Tabel 4.13 Hasil Selisih % <i>Drop voltage</i>	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	13
Gambar 2.2 Sistem Penyaluran Ditribusi Tenaga Listrik.	15
Gambar 2.3 Sistem Konfigurasi Radial	16
Gambar 2.4 Sistem Konfigurasi Jaringan Loop.....	17
Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel.....	17
Gambar 2.6 Sistem Konfigurasi Jaringan Spindel.....	18
Gambar 2.7 Gardu Beton	20
Gambar 2.8 Gardu Cantol	20
Gambar 2.9 Gardu Portal	21
Gambar 2.10 Prinsip Kerja Transformator.....	22
Gambar 2.11 SLD SNP 1 Per Section ULP Samboja	34
Gambar 2.12 SNP 2 Per Section ULP Samboja.....	34
Gambar 2.13 SLD SNP 3 Per Section ULP Samboja	35
Gambar 2.14 SNP 4 Per Section ULP Samboja.....	35
Gambar 2.15 Single Line Diagram Feeder SNP 4	36
Gambar 3.1 Diagram Alur Pelaksanaan.....	41
Gambar 3.2 Overview Penyulang Senipah 1.....	43
Gambar 3.3 Overview Penyulang Senipah 4	44
Gambar 4.1 Kotak Dialog ETAP 12.6	46
Gambar 4.2 Kotak Dialog New Project.....	46
Gambar 4.3 Kotak Dialog User Information	47
Gambar 4.4 Kotak Dialog Analisis ETAP	47
Gambar 4.5 Hasil Single Line Diagram.....	48
Gambar 4.6 Data Jaringan Transmisi.....	52
Gambar 4.7 Simulasi Load Flow Bagian 1	53
Gambar 4.8 Simulasi Load Flow Bagian 2	54
Gambar 4.9 Simulasi Load Flow Bagian 3	55

Gambar 4.10 Pengaturan Optimasi	58
Gambar 4.11 Optimasi Konduktor.....	61



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan distribusi tenaga listrik 20 KV adalah sistem kelistrikan yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen dengan tegangan rendah 380/220V. Ketersediaan tenaga listrik menjadi salah satu kebutuhan utama terhadap keberlangsungan hidup manusia, baik untuk skala rumah tangga, komersil, maupun energi. Hal ini dikarenakan tenaga listrik mudah untuk ditransformasikan atau dikonversikan ke berbagai bentuk energi sesuai dengan kebutuhan. Oleh sebab itu penyediaan tenaga listrik yang stabil dan handal menjadi salah satu syarat wajib yang harus dipenuhi agar kebutuhan listrik yang disalurkan sesuai kebutuhan konsumen [1].

Pembangunan jaringan distribusi tenaga listrik dengan tegangan 20 kV harus mengacu pada standar teknis yang telah ditetapkan oleh PT PLN (Persero). Hal ini sangat penting karena akan mempengaruhi kualitas dan kontinuitas pasokan energi listrik yang diterima oleh pelanggan. Distribusi energi listrik yang dioperasikan dengan baik akan menghasilkan sistem efisien dan handal. Dalam proses pendistribusian tenaga listrik, kerugian daya (*losses*) tidak dapat dihindari baik yang bersifat teknis maupun non-teknis. Kerugian teknis umumnya terjadi akibat karakteristik fisik konduktor, khususnya karena adanya tahanan penghantar yang menghambat aliran arus listrik. Rugi daya ini sangat dipengaruhi oleh besarnya arus dan tegangan dalam sistem saat proses penyaluran berlangsung. Apabila kondisi jaringan distribusi tidak optimal misalnya karena konfigurasi sistem yang kurang tepat, kapasitas saluran yang tidak memadai atau pemeliharaan yang kurang akan terjadi peningkatan susut daya yang berdampak langsung pada menurunnya efisiensi sistem dan kualitas pelayanan kepada konsumen [2].

Dalam proses pengiriman energi listrik terdapat berbagai kendala yang dapat menyebabkan berkurangnya aliran daya yang disalurkan salah satunya adalah rugi daya atau *losses*. Rugi daya listrik merupakan kehilangan energi listrik sebelum mencapai konsumen. Kehilangan ini terjadi pada dua tahap distribusi dan menyebabkan kerugian bagi penyedia energi listrik dalam hal ini PLN. Oleh sebab itu, pengendalian dan penertiban penggunaan tenaga listrik menjadi hal yang sangat penting terutama dalam aspek perencanaan sistem distribusi, pemeriksaan, tindakan dan penyelesaian terhadap instalasi pemakai tenaga listrik. Besarnya susut energi dari PLN berupa prosentase global

untuk dapat menekan angka susut energi agar lebih efektif yaitu dengan memisahkan susut teknis dan non teknis [3].

Susut energi terbagi menjadi dua jenis utama yaitu susut teknis dan non-teknis. Susut teknis terjadi akibat hilangnya energi listrik selama proses penyaluran dari pembangkit hingga ke pelanggan yang disebabkan oleh konversi energi listrik menjadi panas. Sementara itu susut non-teknis merupakan kehilangan energi listrik yang digunakan oleh pelanggan maupun non pelanggan yang tidak tercatat dalam sistem penjualan. Tingkat susut ini berdampak langsung pada pendapatan perusahaan yaitu semakin tinggi nilai susut, maka semakin besar pula potensi kerugian yang ditanggung. Sebaliknya semakin rendah susut, maka semakin efisien kinerja distribusi dan semakin besar keuntungan yang dapat diperoleh. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan susut distribusi antara lain tingginya beban pada penyulang, jarak distribusi listrik yang jauh dari sumber daya, penurunan tegangan (drop voltage), ketidakseimbangan beban, usia peralatan, ukuran konduktor, dan faktor teknis lainnya. Apabila tingkat susut terlalu tinggi, maka efisiensi sistem distribusi energi listrik akan menurun secara signifikan [4].

PT PLN (Persero) ULP Samboja merupakan perusahaan penyedia tenaga listrik yang terletak di Kabupaten Kutai Kertanegara yang masuk bagian dari UP3 Balikpapan. ULP ini memiliki aliran daya penyulang yang terbagi menjadi 4 yaitu SNP 1-4. Penyulang atau *feeder* berfungsi sebagai jalur pengiriman atau distribusi energi listrik dari gardu induk menuju konsumen. Agar proses distribusi berjalan dengan baik, maka kondisi penyulang harus senantiasa dijaga agar beroperasi secara optimal. Namun, dalam praktiknya penyulang sering mengalami gangguan yang bersifat acak yang dapat mengakibatkan terganggunya kinerja peralatan, peningkatan beban secara tiba-tiba, hingga terputusnya sambungan peralatan dari sistem. Selain itu energi yang disalurkan oleh PLN tidak selalu dapat diterima secara maksimal oleh konsumen sehingga efisiensi distribusi pun menjadi berkurang.

Penyulang di ULP SAMBOJA disuplai oleh gardu induk Senipah yang terdiri dari 4 penyulang yaitu penyulang SNP 1-4. Total beban puncak 4 penyulang ULP Samboja mencapai 13.6 MW dengan panjang penyulang 337,58 Kms. Permasalahannya adalah bahwa Susut Energi Total ULP Samboja mencapai 10.301.194,27 kwh atau 8.05%, susut teknis (I^2R) pada penyulang ULP Samboja mencapai 8.397.894,88 kWh atau 6,56% dan susut non teknis (non I^2R) mencapai 1.903.299,39 kWh atau 1,49 % dengan beban puncak yang dapat mencapai 4,5 MW [5]. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya beban, panjang saluran dan spesifikasi konduktor (luas penampang). Dampaknya adalah

meningkatnya rugi-rugi penghantar atau penurunan tegangan sistem. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengangkat judul “ Analisa Susut Teknis Penyulang 20 Kv Senipah-4 Ulp Samboja Kabupaten Kutai Kertanegara Dengan Menggunakan Etap 12.6”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar nilai susut daya (losses) yang terjadi pada penyulang SNP-4 sebelum dilakukan analisis dan optimasi menggunakan software ETAP 12.6?
2. Apakah terdapat ketidakseimbangan beban antar fasa (R, S, T) yang menyebabkan peningkatan susut teknis?
3. Apakah jenis konduktor dan panjang penghantar distribusi menjadi faktor utama dalam peningkatan susut teknis?
4. Bagaimana kondisi gardu distribusi yang mengalami overload dan apakah hal tersebut meningkatkan kerugian teknis?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar memperoleh hasil penelitian yang terfokus dan terarah penulis menetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian membahas susut teknis yang terjadi di penyulang Senipah-4 di wilayah kerja PT. PLN (Persero) ULP Samboja.
2. Simulasi sistem distribusi listrik dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP.
3. Perhitungan susut teknis secara manual dilakukan dengan menggunakan persamaan (I^2R).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Melakukan hasil analisa simulasi yang telah dilakukan, terutama terkait dengan nilai susut daya (losses) sebelum dan sesudah optimasi.
2. Peningkatan kapasitas trafo dan penyesuaian kawat penghantar untuk menurunkan nilai losses dan drop voltage
3. Mengetahui langkah yang dapat dilakukan untuk mengurangi nilai susut teknis pada penyulang ULP Samboja.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang didapat adalah:

1. Bagi Peneliti :

Sebagai sumber informasi dan pengetahuan guna meningkatkan wawasan dan kemampuan analisis peneliti.

2. Bagi ULP Samboja

Sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan evaluasi untuk menganalisis kinerja penyulang ULP Samboja Senipah 4.

3. Bagi Masyarakat.

Sebagai sumber informasi dan landasan teori yang dapat digunakan untuk penelitian berkelanjutan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan didalam penelitian ini yaitu

BAB I

Bab I memuat uraian latar belakang dilaksanakannya penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat yang ingin dicapai melalui penelitian.

BAB II

Bab II terdiri dari landasan teori mengenai susut teknis, sistem aliran daya penyulang dan software ETAP.

BAB III

Bab III berisi metode penelitian untuk mendapatkan data dan menjelaskan mengenai analisa data untuk dapat memperoleh nilai susut teknis menggunakan software ETAP.

BAB IV

Bab IV berisi mengenai analisa perhitungan nilai susut teknis ULP Samboja pada pengaturan aliran daya penyulang Senipah 4 dan solusi untuk mengurangi atau meminimalisir nilai susut teknis.

BAB V

Bab V berisi mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian dan saran yang dapat disampaikan peneliti ke pihak-pihak terkait.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian-penelitian tentang analisa losses yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu antara lain:

- a. Evaluasi Susut Daya Penyulang Cendana 20 kV pada Gardu Induk Bungaran dengan ETAP 12.6 [2]. Melakukan evaluasi terhadap susut daya yang terjadi dengan memberikan perbandingan perhitungan secara manual dan perhitungan menggunakan simulasi ETAP 12.6. Dalam evaluasi tersebut diperoleh nilai susut daya pada jaringan tegangan menengah Penyulang Cendana 20KV pada Gardu Induk Bungaran melalui perhitungan manual 7,2% disiang hari dan 8,6% malam hari. Sedangkan dengan simulasi ETAP12.6 menunjukkan bahwa susut daya pada siang hari 7,15% dan pada malam hari adalah 8,6%. Melalui penelitian ini diperoleh nilai susut daya Penyulang Cendana mencapai standard yang diizinkan sebesar 2 % sehingga dapat dilakukan optimalisasi jaringan.
- b. Analisis Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara dengan Menggunakan ETAP 12.6 [6]. Hasil evaluasi rugi daya (losses) distribusi di Area Makassar Utara khususnya pada ULP Karebosi, dapat disimpulkan rugi daya pada Penyulang Polda menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 sebesar 600,9 kW. Sementara itu hasil perhitungan manual menunjukkan nilai sebesar 509,8 kW. Rugi-rugi terbesar pada jaringan tegangan menengah Penyulang Polda terjadi pada line 53, yakni dari bus 121 ke bus 122. Sebaliknya, rugi-rugi terkecil terjadi pada line 98, yaitu dari bus 200 ke bus 201. Tingginya rugi-rugi daya pada penyulang ini disebabkan oleh besarnya beban yang melewati masing-masing kabel dan jalur, yang menghasilkan arus listrik cukup tinggi. Ketika beban dinaikkan hingga 110% dari kondisi normal (overload), nilai rugi-rugi daya pun mengalami peningkatan yang signifikan.
- c. Analisa Rugi-Rugi Daya (Losses Power) pada Jaringan Tegangan Rendah PT. Musimmas Batam [7]. Berbeda dengan penelitian yang lain, penelitian ini berfokus pada jaringan tegangan rendah. Melakukan perhitungan ketidakseimbangan beban dan membandingkannya dengan nilai yang dapat ditoleransi oleh PLN, kemudian melakukan perhitungan rugi-rugi daya pada beban yang tidak seimbang, barulah dilakukan penyeimbangan beban. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa rugi daya untuk kawat 400mm² ($R = 0,047\Omega/\text{km}$) adalah 46,6watt/km = 0,046kW/km. Besarnya rugi daya diakibatkan adanya arus netral pada penghantar netral transformator sebesar

0,03%.

- d. Analisis Susut Daya Dan Energi pada Jaringan Distribusi Di Gardu Induk Kendari New Penyulang Brimob menggunakan Software ETAP 19.0.1 [8]. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar susut daya dan susut energi pada saluran distribusi Penyulang Brimob selama kondisi beban puncak tahun 2024. Analisis dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP versi 19.0.1. Berdasarkan hasil analisis, perhitungan manual menunjukkan bahwa susut daya mencapai 121,49 kW atau sebesar 1,80% dari total daya yang disalurkan melalui Penyulang Brimob. Sementara itu, hasil simulasi menggunakan ETAP 19.0.1 menghasilkan nilai susut daya 192,3 kW atau 2,94% dari total daya. Adapun untuk susut energi, perhitungan manual mencatat total sebesar 364,46 kWh. Sedangkan hasil simulasi melalui ETAP menunjukkan susut energi sebesar 576,90 kWh berasal dari total 98 trafo yang terhubung pada sistem distribusi tersebut.
- e. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi untuk Mendukung Perbaikan Susut Teknik Di ULP Bangko dilakukan upaya-upaya perbaikan susut daya di sisi teknis pada PLN ULP Bangko sebagai salah satu unit dengan pertumbuhan pelanggan yang cukup tinggi [4]. Untuk itu penelitian ini bekerja sama dengan PLN ULP Bangko melakukan kegiatan pembangunan penyulang baru guna memperbaiki kinerja pelayanan mutu tegangan dan penurunan susut distribusi. Dari pekerjaan rekonfigurasi jaringan distribusi didapatkan *saving* kWh sebesar 183.960 perbulan. Tegangan pelayanan mengalami kenaikan $\pm 1,8$ sd 2,4 KV. Rekonfigurasi jaringan distribusi memiliki dampak yang besar terhadap susut JTM sebesar 13 % atau sebesar 183.959,55 kWhper bulan, serta *saving* rupiah sebesar Rp. 269,581,518.40 / bulan.
- f. Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung melalui Studi Aliran Daya oleh Lemito [9] . Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas tegangan sistem distribusi yang disuplai dari Gardu Induk (GI) Marisa. Metode yang digunakan adalah simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP, dengan empat skenario yang diuji: tiga skenario pelimpahan beban dan satu skenario peningkatan kapasitas penghantar (up-rating). Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario ketiga dari alternatif pelimpahan beban merupakan opsi terbaik karena menghasilkan tegangan sebesar 17,8 kV, yang paling mendekati standar SPLN 1:1995, meskipun masih mengalami penurunan tegangan sebesar -10,8%. Karena penurunan ini melebihi batas toleransi 10%, maka diperlukan tambahan kompensasi daya reaktif berupa

pemasangan kapasitor bank sebesar 2,75 MVar. Penambahan kapasitor bank pada skenario ketiga terbukti efektif, di mana hasil simulasi aliran daya menunjukkan peningkatan tegangan di Gardu Hubung (GH) Lemito menjadi 20,10 kV atau mengalami kenaikan sebesar 0,52%.

- g. Analisis Susut Daya (Losses) pada Penyulang Rayap PT.PLN (Persero) UID Lampung Berbasis Aplikasi ETAP 19.0 [10]. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, observasi lapangan, wawancara, proses pengumpulan data dan mensimulasikan hasil untuk menganalisis susut daya pada penyulang Rayap. Dari analisis didapati bahwa pada simulasi menggunakan ETAP 19.0.1, didapat nilai total losses pada saluran sebesar 0,6 kW dan total losses pada trafo sebesar 6,4 kW sehingga total losses pada simulasi sebesar 7 kW. Besar susut yang didapat adalah 1,82% dari total daya yang dikirim gardu induk yaitu sebesar 415,5 kW. Perhitungan secara manual menggunakan rumus daya didapatkan hasil total losses pada saluran sebesar 0,6175 kW dan total losses pada perangkat sebesar 15,9 kW sehingga total losses pada perhitungan sebesar 16,5175 kW maka susut yang didapat adalah 3,97% dari total daya yang dikirim gardu induk yaitu sebesar 415,5 kW.

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka

No.	Nama Peneliti	Judul	Permasalahan	Metode	Hasil
1.	Yessi Marniati dan Quratul Aini Hanifatullah	Evaluasi Susut Daya Penyulang Cendana 20 kV pada Gardu Induk Bungaran dengan ETAP 12.6	Resistansi (R) timbul akibat sifat penghantar yang menghambat aliran arus listrik, sehingga menyebabkan energi listrik berubah menjadi panas (rugi-rugi I^2R)	Studi literatur, metode observasi, dan konversi data dalam GPS. Membandingkan hasil perhitungan susut daya secara manual dengan hasil yang diperoleh dari ETAP.	Nilai susut daya pada jaringan tegangan menengah Penyulang Cendana 20KV pada Gardu Induk Bungaran melalui perhitungan manual 7,2% siang hari dan 8,6% malam hari. Sedangkan dengan simulasi

					ETAP12.6 menunjukkan bahwa susut daya pada siang hari 7,15% dan pada malam hari adalah 8,6%.
2.	Sugianto, Arif Jaya, dan Bayu Adrian Ashad	Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara dengan Menggunakan ETAP 12.6.	Menghitung rugi rugi daya jaringan distribusi	Melakukan perhitungan rugi rugi daya dengan menggunakan simulasi ETAP 12.6 dan secara manual	Jumlah losses pada Penyulang Polda dengan menggunakan simulasi ETAP sebesar 600,9 kW dan hasil perhitungan manual sebesar 509,8 kW
3.	Muhammad Irsyam, Missyamsu Aligusri, Linggom Pandapotan Marpaung	Analisa Rugi-Rugi Daya (Losses Power) pada Jaringan Tegangan Rendah PT. Musimmas Batam.	Ketidakseimbangan beban pada jaringan tegangan rendah yang menyebabkan rugi-rugi daya	Sumber data yang digunakan dari data pengukuran tegangan dan arus pada panel LVMDP di PT. Musimmas. Data tersebut disusun dan diolah, kemudian dilakukan perhitungan rugi rugi daya secara manual.	Rugi-rugi daya untuk kawat 400mm ² ($R = 0,047\Omega/\text{km}$) adalah 46,6watt/km = 0,046kW/km. Besar persentase rugi-rugi akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator sebesar 0,03 %.
4.	Reynal Ardiansyah	Analisis Susut Daya	Analisis susut daya dan susut energi	Penelitian ini menggunakan	Berdasarkan perhitungan

	Kandecceing, Mansur, Sahabuddin Hay, Samuel Jie, Yuni Aryani Koedoes, Agustinus Lolok, dan St. Nawal Jaya	Dan Energi pada Jaringan Distribusi Di Gardu Induk Kendari New Penyulang Brimob menggunakan Software ETAP 19.0.1	pada saluran distribusi Penyulang Brimob saat kondisi beban puncak dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP versi 19.0.1.	pendekatan kuantitatif untuk menghitung besarnya susut daya dan energi pada saluran distribusi saat kondisi beban puncak. berdasarkan data hasil pengukuran aktual Penyulang Brimob sebagai perbandingan, dilakukan simulasi susut daya dan energi menggunakan perangkat lunak ETAP untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif terhadap kinerja sistem distribusi.	manual, susut daya pada saluran Penyulang Brimob tercatat sebesar 121,49 kW, yang setara dengan 1,80% dari total daya pada saluran tersebut. Sementara itu, hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP versi 19.0.1 menunjukkan nilai susut daya sebesar 192,3 kW atau 2,94% dari total daya. Untuk susut energi, perhitungan manual menghasilkan nilai sebesar 364,46 kWh, sedangkan hasil simulasi dengan ETAP menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 576,90 kWh, berdasarkan analisis terhadap total 98 trafo yang terhubung dalam sistem.
--	--	---	---	--	---

5.	Heru Fajar Kurniawan dan Devit Rahmawati	Rekonfigurasi Jaringan Distribusi untuk Mendukung Perbaikan Susut Teknik Di ULP Bangko	Upaya-upaya perbaikan susut daya di sisi teknis pada PLN ULP Bangko.	Studi literature, observasi, dan analisa susut tegangan menggunakan simulasi program ETAP untuk mengetahui nilai susut tegangan yang terjadi pada penyulang, kemudian melakukan rekonfigurasi jaringan.	Dari pekerjaan rekonfigurasi jaringan distribusi didapatkan <i>saving</i> kWh sebesar 183.960 perbulan. Tegangan pelayanan mengalami kenaikan $\pm 1,8$ sd 2,4 KV. Rekonfigurasi jaringan distribusi memiliki dampak yang besar terhadap susut JTM sebesar 13 % atau sebesar 183.959,55 kWhper bulan, serta saving rupiah sebesar Rp. 269,581,518.40 / bulan.
6.	Ervan Hasan Harun, Triyadi Adam, dan Jumiaty Ilham	Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung Lemito melalui Studi Aliran Daya	Tegangan GH Lemito turun sampai 19.21%. karena melayani beban yang cukup besar dan penghantar utama yang menghubungkan GI Marisa ke GH Marisa menggunakan penghantar	Metode yang digunakan adalah melakukan 4 skenario jaringan yang disimulasi dengan menggunakan ETAP.	Berdasarkan simulasi didapatkan bahwa skenario 3 adalah skenario yang paling mendekati standar SPLN 1:1995 yaitu 17.8kV dengan persentase turun tegangan

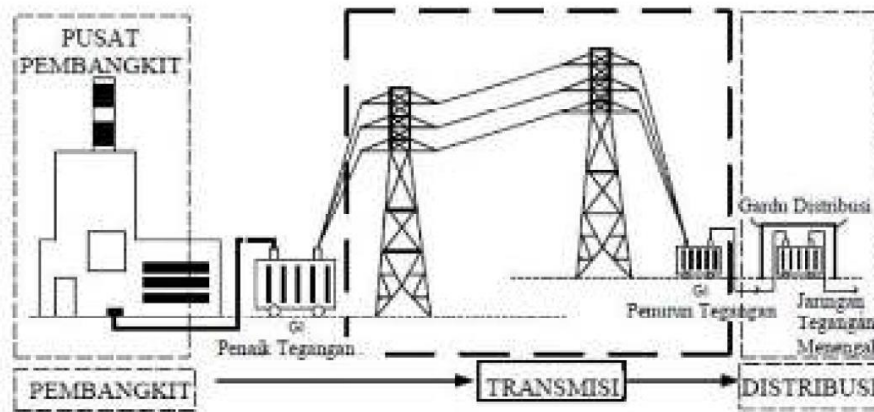
			berdimensi yang lebih kecil yang menyalahi aturan jaringan radial.		sebesar - 10.8%. Oleh karena persentase turun tegangan masih di atas 10% maka skenario 3 pelimpahan beban masih perlu ditambahkan kapasitor bank sebesar 2.75 MVar.
7.	Noer Soedjarwanto, Kenya Excellentia Kines, Saka Arif Aulia	Analisis Susut Daya (Losses) pada Penyulang Rayap PT. PLN (Persero) UID Lampung Berbasis Aplikasi ETAP 19.0.1	Susut (losses) daya yang berdampak pada penurunan kualitas energi listrik yang dihantarkan ke pelanggan.	Metode studi literatur, observasi lapangan, wawancara, proses pengumpulan data dan pensimulasian,	Total losses pada saluran sebesar 0,6 kW dan total losses pada trafo sebesar 6,4kW sehingga total losses pada simulasi sebesar 7 kW. Besar susut yang didapat adalah 1,82% dari total daya yang dikirim gardu induk yaitu sebesar 415,5 kW. Pada perhitungan secara manual menggunakan rumus daya didapatkan hasil total losses pada saluran sebesar 0,6175 kW dan

					total losses pada perangkat sebesar 15,9 kW sehingga total losses pada perhitungan sebesar 16,5175 kW maka susut yang didapat adalah 3,97% dari total daya yang dikirim gardu induk yaitu sebesar 415,5 kW.
--	--	--	--	--	---

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik merupakan satu kesatuan mencakup berbagai komponennn seperti pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban. Semua komponen ini saling terhubung dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai dengan kebutuhan. Terlihat pada gambar 2.1 sistem tenaga listrik secara umum.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.

Fungsi dari bagian sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut [11]:

- Pembangkit berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik atau sebagai sumber penghasil energi listrik yaitu mengubah sumber energi lain, misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dan lain-lain menjadi energi listrik.
- Transmisi sebagai penyalur daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
- Distribusi berfungsi menyalurkan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik dari sistem Transmisi
- Beban adalah peralatan listrik di lokasi konsumen yang menggunakan energi listrik yang disalurkan tersebut.

Sistem Tenaga Listrik adalah gabungan dari peralatan komponen listrik seperti pembangkit listrik (generator), transformator, jaringan transmisi, jaringan distribusi, dan beban. Semua komponen ini saling terhubung dan membentuk suatu sistem yang bekerja secara terpadu. Perkembangan industri kelistrikan sendiri bermula pada tahun 1882 ditandai dengan beroperasinya pembangkit Listrik pertama bernama *Pearl Street Electric Station* di New York, Amerika Serikat. Seiring waktu, sektor ini berkembang sangat pesat yang ditandai dengan munculnya berbagai fasilitas pembangkitan dan jaringan transmisi maupun distribusi di banyak negara di dunia.

Energi Listrik merupakan bentuk energi yang memiliki peran penting dalam menunjang kehidupan masyarakat modern. Tingkat ketergantungan terhadap tenaga listrik saat ini sangat tinggi bahkan peranannya dalam kehidupan hampir bisa disamakan dengan oksigen. Tidak mengherankan jika konsumsi energi listrik sering dijadikan indikator untuk menilai tingkat kemajuan suatu negara. Misalnya, Amerika Serikat sebagai negara maju. Pada tahun 2000 memiliki total kapasitas pembangkit listrik terpasang sekitar 1.200 gigawatt (GW)

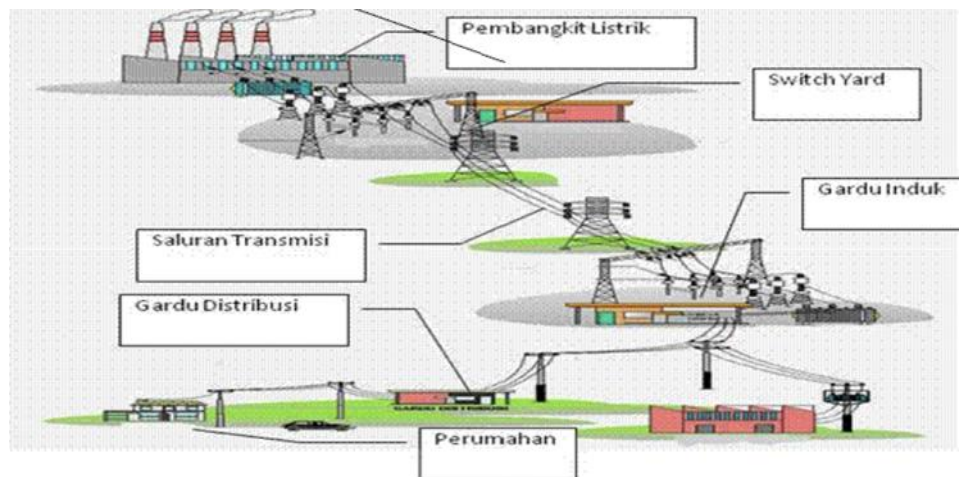
atau $1,2 \times 10^{12}$ watt. Sebagai perbandingan Indonesia yang masih berstatus negara berkembang pada akhir tahun 2004 memiliki kapasitas terpasang sekitar 20 GW untuk sistem kelistrikan di wilayah Jawa Bali. Karena mayoritas pengguna listrik berada di wilayah tersebut, maka sebagian besar pembangkit listrik di Indonesia pun terkonsentrasi di pulau Jawa dan Bali [1].

Dalam skala nasional biaya pembangunan sistem distribusi diperkirakan sebanding dengan investasi yang diperlukan untuk membangun fasilitas pembangkit listrik. Berdasarkan pengalaman kombinasi antara sistem distribusi dan pembangkit dapat menyerap 80% dari total anggaran investasi sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Di pusat pembangkit sumber energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak bumi, gas alam, dan batu bara), tenaga air, panas bumi, serta energi nuklir dikonversi menjadi energi listrik. Proses ini dilakukan oleh generator sinkron, yang mengubah energi mekanik dari poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa. Selanjutnya, energi listrik tersebut dinaikkan tegangannya menggunakan transformator step-up, lalu disalurkan melalui jaringan transmisi tegangan tinggi menuju ke pusat konsumsi listrik atau beban [1].

2.3 Jaringan Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik dari pembangkit hingga ke konsumen melalui bagian generator pembangkit dengan tegangan keluaran relatif rendah yaitu 6KV-24KV, kemudian tegangan dinaikkan menggunakan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi yaitu 150KV-500KV. Tujuan peningkatan tegangan listrik adalah memperbesar daya hantar saluran dan untuk memperkecil rugi daya serta susut tegangan pada saluran transmisi, proses ini termasuk tahapan kedua. Penurunan tegangan dari tegangan tinggi sebelum ke konsumen dilakukan di gardu induk (GI). Di gardu induk, tegangan akan diturunkan dari 150KV menjadi 20 KV sebelum di distribusikan ke konsumen [7].

Sistem distribusi tenaga listrik mengirimkan energi dari unit pembangkit listrik sampai ke konsumen. Tegangan yang di transmisikan diturunkan dengan transformator penurunan tegangan (step down) pada gardu induk distribusi menjadi 20kV, kemudian disalurkan ke trafo distribusi yang lebih kecil menjadi tegangan rendah yaitu 220/380V dan disalurkan ke konsumen atau pelanggan. seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 [10].



Gambar 2.2 Sistem Penyaluran Ditribusi Tenaga Listrik.

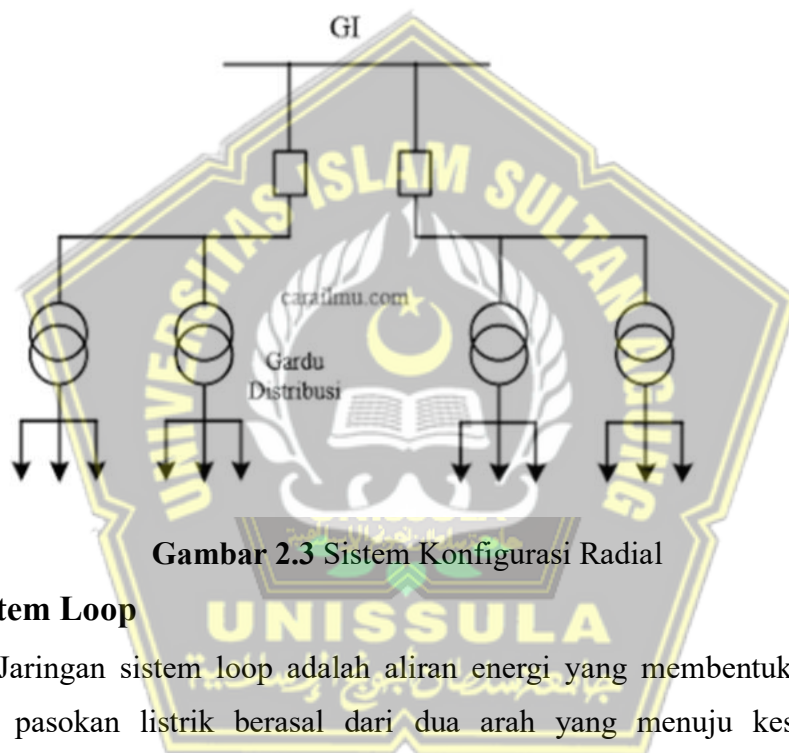
Jaringan Distribusi tenaga listrik terdiri dari dua bagian utama yaitu Jaringan Tegangan Menengah (JTM) atau jaringan distribusi primer yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk subtransmisi menuju gardu distribusi. Jaringan ini biasanya menggunakan sistem tiga kawat atau empat kawat untuk penyaluran tiga fasa. Jaringan Tegangan Rendah (JTR) atau jaringan distribusi sekunder yang menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi langsung ke konsumen. Sebelum mencapai konsumen tegangan listrik diturunkan terlebih dahulu oleh transformator distribusi dari 20kV menjadi 380/220Volt agar sesuai dengan kebutuhan pelanggan rumah tangga maupun industri kecil [12].

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban sedangkan jaringan distribusi sekunder terletak antara transformator distribusi dan sambungan pelayanan (beban) menggunakan penghantar udara terbuka atau kabel dengan sistem tiga fasa empat kawat (tiga kawat fasa dan satu kawat netral [12]. Pemilihan struktur jaringan tegangan menengah (JTM) tergantung pada kualitas pelayanan yang diinginkan, dimana kualitas yang dimaksud memiliki beberapa unsur yaitu: Kontinuitas pelayanan, pengaturan tegangan dan tegangan kedip yang diizinkan.

2.3.1 Sistem Radial

Dalam sistem distribusi ini, terdapat sejumlah penyulang yang menyalurkan energi listrik ke beberapa gardu distribusi dengan pola radial. Jaringan distribusi radial merupakan tipe yang paling umum digunakan saat ini, terutama karena desain

konstruksinya yang sederhana serta biaya pembangunannya yang relatif rendah. Di Indonesia, tipe jaringan ini menjadi pilihan utama dalam banyak sistem distribusi. Namun, jaringan radial memiliki beberapa kelemahan. Salah satu kelemahannya adalah apabila terjadi gangguan pada jalur utama maka seluruh penyulang yang terhubung akan mengalami pemadaman. Selain itu, kualitas tegangan di gardu distribusi yang berada paling jauh dari sumber cenderung menurun akibat tingginya rugi-rugi daya di sepanjang saluran. Konfigurasi jaringan ini disebut radial karena aliran listrik mengalir dari satu arah sumber menuju ke beban melalui cabang-cabang yang menyebar. Model ini dianggap paling cocok untuk wilayah dengan kepadatan pelanggan yang rendah atau menyebar secara luas.

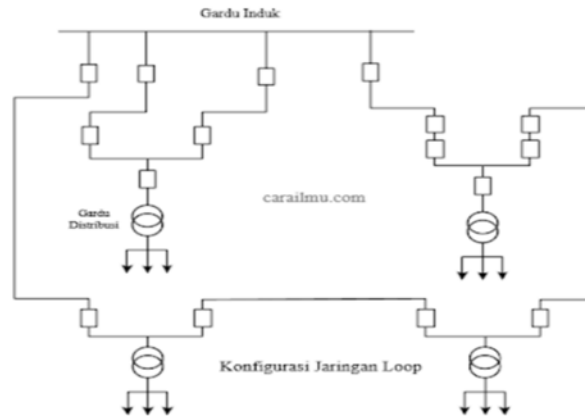


Gambar 2.3 Sistem Konfigurasi Radial

2.3.2 Sistem Loop

Jaringan sistem loop adalah aliran energi yang membentuk jalur melingkar dimana pasokan listrik berasal dari dua arah yang menuju kesatu titik beban. Konfigurasi loop sangat sesuai diterapkan di wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi sehingga membutuhkan keandalan sistem listrik yang tinggi.

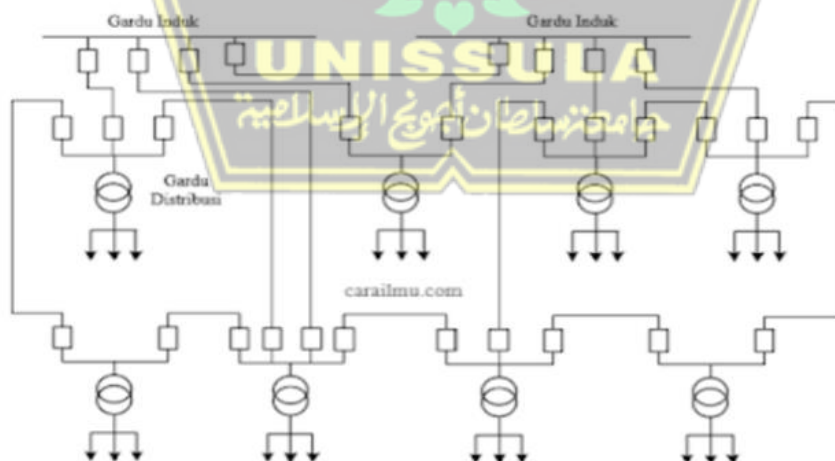
Salah satu keunggulan utama dari sistem distribusi loop adalah kemampuannya menjaga kontinuitas pasokan listrik. Jika terjadi gangguan pada salah satu jalur, maka aliran dari sisi lainnya dapat langsung mengambil alih, sehingga gangguan layanan dapat diminimalkan. Selain itu, sistem ini juga cenderung memiliki rugi-rugi daya dan penurunan tegangan (drop tegangan) yang lebih rendah, sehingga mampu mempertahankan kualitas daya yang lebih baik. Namun demikian kelemahan utama dari jaringan sistem distribusi loop terletak pada tingginya biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun sistem ini.



Gambar 2.4 Sistem Konfigurasi Jaringan Loop

2.3.3 Sistem Jaringan Grid

Konfigurasi jaringan grid lebih rumit dibandingkan dengan konfigurasi jaringan loop. Konfigurasi Grid memiliki beberapa backup yang akan menjamin kontinuitas penyaluran energi ke pelanggan. Konfigurasi jaringan grid lebih cocok untuk tipe pelanggan yang padat dengan beban tinggi atau untuk pelanggan-pelanggan khusus seperti industri. Kelebihan konfigurasi jaringan grid adalah penyaluran terjamin dengan drop tegangan dan daya yang lebih kecil. Sedangkan kekurangan dari konfigurasi jaringan grid adalah biaya investasi yang sangat besar. Dapat dilihat pada gambar 2.5 konfigurasi jaringan grid adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Grid.

Pada sistem ini terdapat penyulang yang terkoneksi membentuk loop atau rangkaian tertutup untuk menyuplai gardu distribusi. Gabungan dari dua struktur radial menjadi keuntungan pada pola loop karena pasokan daya lebih terjamin dan memiliki keandalan

yang cukup. Konfigurasi jaringan ini merupakan konfigurasi dari Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM). Dalam keadaan normal konfigurasi jaringan ini bekerja secara radial namun ketika ada salah satu saluran yang mengalami gangguan maka dibackup oleh saluran cadangan (Express Feeder).

2.3.4 Sistem Jaringan Spindel

Jaringan spindel adalah salah satu bentuk sistem jaringan distribusi tenaga listrik khususnya pada sistem distribusi radial. Dimana aliran tenaga listrik berasal dari satu sumber (misalnya gardu induk atau gardu distribusi utama) dan disalurkan secara langsung ke beban atau pelanggan tanpa adanya jalur alternatif. Disebut “spindel” karena bentuk fisiknya menyerupai batang lurus dengan cabang-cabang kecil yang keluar dari sisi utama mirip seperti poros (spindle) dengan cabang-cabang keluar dari batang utama tersebut.



Gambar 2.6 Sistem Konfigurasi Jaringan Spindel.

2.4 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jaringan distribusi menengah (20 kV atau 6,6 kV) ke tingkat tegangan rendah (380/220 V), sehingga aman dan sesuai untuk digunakan oleh konsumen akhir seperti rumah tangga, perkantoran, maupun industri kecil. Gardu distribusi menjadi titik transisi antara jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR).

Gardu ini berisi instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-

TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya yang disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat[14].

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

1. Berdasarkan Jenis pemasangannya :
 - a) Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
 - b) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
2. Berdasarkan Jenis Konstruksinya :
 - a) Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
 - b) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
 - c) Gardu Kios

3. Berdasarkan Jenis Penggunaannya :

- a) Gardu Pelanggan Umum
- b) Gardu Pelanggan Khusus

Gardu Hubung (GH) digunakan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain. Gardu ini juga ada yang dilengkapi atau tidak dilengkapi dengan RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas seperti ini menggunakan DC Supply dari Trafo Distribusi.

Fungsi dari Gardu Distribusi adalah sebagai berikut:

- a) Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah.
- b) Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan ke konsumen tegangan rendah.
- c) Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

Pada sistem distribusi mengenal beberapa jenis-jenis gardu distribusi yang terpasang antara lain sebagai berikut:

2.4.1 Gardu Beton

komponen utama dalam sistem instalasi transformator distribusi dan peralatan switching serta proteksi diintegrasikan ke dalam sebuah struktur bangunan sipil permanen. Bangunan ini umumnya menggunakan konstruksi pasangan batu dan beton bertulang (reinforced masonry wall), yang berfungsi sebagai pelindung fisik terhadap gangguan

eksternal serta sebagai pengaman sistem kelistrikan dari potensi bahaya seperti kebakaran, ledakan, maupun gangguan lingkungan. Desain bangunan semacam ini juga mendukung isolasi termal dan akustik, serta meningkatkan daya tahan terhadap beban mekanis dan cuaca ekstrem. Penerapan konstruksi masonry bertujuan untuk memenuhi persyaratan keselamatan ketenagalistrikan, sebagaimana diatur dalam standar nasional (SPLN) maupun internasional seperti IEC dan IEEE, guna menjamin keandalan operasi sistem distribusi tenaga listrik serta keselamatan personel dan peralatan di lingkungan gardu.



Gambar 2.7 Gardu Beton

2.4.2 Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol merupakan transformator yang terpasang dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksi sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator. Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.



Gambar 2.8 Gardu Cantol

2.4.3 Gardu Portal

konfigurasi Gardu Tiang yang mendapatkan pasokan dari Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) menggunakan pola T section. Gardu ini dilengkapi dengan perangkat pengaman utama berupa Fusible Cut-Out (FCO), yang berfungsi sebagai proteksi terhadap gangguan hubung singkat pada transformator. FCO bekerja menggunakan elemen pelebur (fusible link tipe expulsion) yang akan putus dan memutus arus saat terjadi kelebihan beban atau korsleting, sehingga melindungi transformator dari kerusakan. Selain itu, untuk melindungi transformator dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir, gardu tiang juga dipasang Lightning Arrester (LA). Perangkat ini berfungsi menyalurkan lonjakan tegangan berlebih ke tanah sehingga mencegah kerusakan pada peralatan dan meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik. Untuk mengatasi keterbatasan lahan di Gardu Portal maka digunakan konfigurasi sistem switching atau proteksi berupa RMU (*Ring Main Unit*) yang sudah terpasang. Peralatan switching untuk incoming dan outgoing dapat berupa Pemutus Beban (*LBS / Load Break Switch*), Pemutus Beban Otomatis (*PBO*), atau Circuit Breaker (*CB*) yang dioperasikan secara manual maupun dengan kendali jarak jauh. Sebagai pendukung deteksi gangguan Fault Indicator (*PMFD: Pole Mounted Fault Detector*) dipasang pada segmen dan percabangan jaringan. Hal ini mempermudah identifikasi titik gangguan sehingga bagian jaringan yang tidak terganggu dapat segera dipulihkan dengan lebih cepat.



Gambar 2.9 Gardu Portal

2.5 Transformator

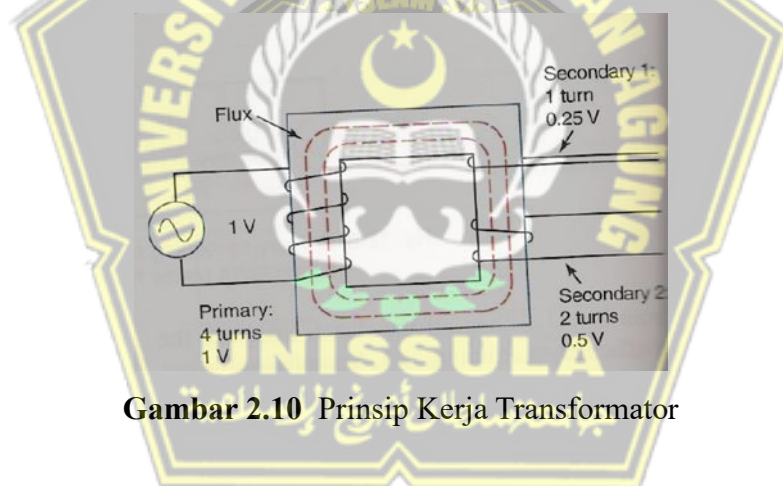
Transformator atau yang lebih dikenal dengan sebutan trafo berfungsi untuk menaikkan (step-up) atau menurunkan (step-down) tegangan listrik. Oleh karena itu, dalam sistem tenaga

listrik trafo umumnya dipasang di antara dua bagian sistem yang memiliki tingkat tegangan berbeda. Misalnya, pada kedua ujung saluran transmisi.

Trafo digunakan untuk menyesuaikan tegangan:

- Di sisi pembangkit (pengiriman) dipasang trafo penaik tegangan agar energi dapat ditransmisikan dengan efisien.
- Di sisi penerima (beban) dipasang trafo penurun tegangan agar tegangan sesuai dengan kebutuhan pengguna akhir.

Penggunaan transformator ini memungkinkan perubahan besar tegangan dan arus tanpa mengubah besaran daya secara signifikan—dengan asumsi bahwa daya masukan dan keluaran tetap konstan (mengabaikan rugi-rugi). Prinsip Trafo bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik yang terdiri dari dua lilitan kawat yang terisolasi dan dililitkan pada inti besi bersama. Salah satu lilitan dihubungkan dengan sumber tegangan dan disebut sebagai lilitan primer, biasanya digambarkan di sebelah kiri dalam diagram. Lilitan lainnya yang menghasilkan tegangan keluaran disebut lilitan sekunder yang Terlihat gambar 2.10.



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Transformator

2.5.1 Trafo Distribusi

Transformator distribusi merupakan komponen penting dalam sistem jaringan distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik ke tingkat yang sesuai dengan kebutuhan konsumen. Umumnya, trafo jenis ini menggunakan minyak sebagai media pendingin. Kumparan trafo ditempatkan di dalam sebuah wadah yang berisi minyak pendingin untuk menjaga suhu selama operasional. Agar trafo tidak mudah rusak akibat gangguan pada jaringan seperti hubungan singkat atau arus berlebih, perlu dilengkapi dengan perlengkapan proteksi. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah sambaran petir. Untuk melindungi trafo dari tegangan lebih akibat petir, dipasang alat bernama arester. Arestor dipasang dengan satu ujung terhubung ke kawat tegangan menengah dan

ujung lainnya dikoneksikan ke tanah. Prinsip kerja arester adalah sebagai isolator ketika kondisi jaringan normal. Namun, saat terjadi lonjakan tegangan akibat petir, arester akan berubah menjadi konduktor yang baik, sehingga memungkinkan tegangan lebih dialirkan ke tanah. Setelah kondisi kembali stabil arester otomatis kembali berfungsi sebagai isolator. Selain itu, untuk mengamankan trafo dari arus lebih yang disebabkan oleh beban berlebih maupun hubungan singkat, maka digunakan sekering lebur (fuse). Sekring ini akan memutuskan aliran listrik secara otomatis ketika terdeteksi arus yang melebihi batas aman, sehingga mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan.

Tabel 2. 2 Kapasitas Trafo Distribusi

Tipe	Kapasitas
Tembok	>555 Kva – 1 MVA
Dua Tiang	>200 Kva – 555 Kva
Satu Tiang	Dibawah 200 Kva atau lebih kecil

Sebelum tenaga Listrik sampai ke konsumen terdapat susut yang ditimbulkan. Susut yang ditimbulkan berupa rugi-rugi daya, susut energi dan drop pada tegangan pada saluran. Dalam mentransformasikan daya transformator mengalami kerugian internal saat pengiriman daya listrik.

2.5.2 Rugi Transformator

Rugi transformator adalah kehilangan energi yang terjadi selama proses pengubahan tegangan dari satu tingkat ke tingkat lainnya. Rugi-rugi ini dapat dibagi menjadi beberapa kategori utama yaitu rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga.

a) Rugi Besi

Rugi besi adalah rugi daya yang terjadi karena adanya fluks magnetik bolak-balik. Rugi besi disebabkan oleh arus eddy dan hystersis. Rugi hystersis disebabkan oleh adanya fluks magnetik bolak-balik pada inti besi, secara umum dapat dinyatakan pada persamaan 2.1 [16].

Berikut adalah persamaan 2.1 dinyatakan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \times f \times B_m^n \dots\dots\dots 2.1$$

Sedangkan rugi arus eddy di sebabkan arus pusar pada inti besi , secara umum dinyatakan pada persamaan 2.2 [16]

Berikut adalah persamaan 2.2 dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_e = K_e \times f^2 \times B_m^2 \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

P_h = Rugi histeris (Watt)

P_e = Rugi eddy (Watt)

K_h = Konstanta histeris, tergantung pada inti bahan

K_e = Konstanta arus eddy, tergantung pada volume inti

B_m = Kerapatan fluks maksimum (weber/meter²)

n = Konstanta steinmentz (1,6-2,0)

f = Frekuensi jala-jala (Hz)

b) Rugi Tembaga

Rugi Tembaga adalah rugi yang nilainya berubah karena dipengaruhi oleh arus beban yang mengalir pada tahanan transformator. Rugi tembaga dapat dinyatakan dengan persamaan 2.3 dan 2.4.

$$P_{cu1} = I_1^2 \times R_1 \dots\dots\dots 2.3$$

$$P_{cu2} = I_2^2 \times R_2 \dots\dots\dots 2.4$$

Sehingga rugi tembaga total dapat dinyatakan melalui persamaan 2.5

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} = (I_1^2 \times R_1) + (I_2^2 \times R_2) \dots\dots\dots 2.5$$

$I_2 = aI_1$ sehingga dapat ditulis

$$P_{cu} = (I_1^2 \times R_1) + ((aI_1)^2 \times R_2)$$

$$P_{cu} = I_1^2 (R_1 + a^2 R_2)$$

$$P_{cu} = I_1^2 \times R_{ek1} \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan demikian rugi-rugi total trafo dapat dinyatakan sebagai persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$P_{\text{rugi total trafo}} = P_{cu} + P_i \dots\dots\dots 2.7$$

Sedangkan susut pada tembaga dapat dinyatakan persamaan 2.8

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot R_{cu} \dots\dots\dots 2.8$$

$$R_{cu} = P_{cu} / I_1^2 \dots\dots\dots 2.9$$

2.6 Penghantar Jaringan Distribusi

Proses transmisi dan distribusi tenaga listrik dipenghantar memiliki fungsi yang sangat krusial karena menentukan jumlah dan kualitas dari tenaga listrik yang disalurkan. Terdapat bermacam-macam bahan yang biasa digunakan sebagai bahan Penghantar listrik yang digunakan seperti material aluminium dan tembaga. Akan tetapi jenis penghantar berbahan aluminium dipilih karena memiliki bobot lebih ringan serta harga lebih ekonomis dibandingkan tembaga. Sementara nilai resistansinya tidak berbeda secara signifikan [11].

Pada jaringan distribusi terdapat macam-macam penghantar yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik diantaranya adalah :

a. AAC (*All Aluminium Conductors*)

AAC terdiri dari serabut aluminium yang dikumpulkan menjadi satu membentuk kabel penghantar. Karena terbuat dari aluminium murni, konduktor memiliki berat yang lebih ringan dan daya hantar listrik yang baik, namun kekuatan mekanisnya relatif rendah dibandingkan dengan jenis lain. Umumnya digunakan pada saluran udara dengan rentang pendek.

b. AAAC (*All Aluminium Alloy conductors*)

AAAC terbuat dari paduan aluminium yang memberikan kekuatan mekanis lebih tinggi dibandingkan AAC tanpa mengorbankan konduktivitas listrik secara signifikan. Kabel ini tahan terhadap korosi dan cocok digunakan di daerah pesisir atau area dengan kondisi lingkungan yang agak keras.

c. ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

ACSR atau *Aluminium Conductor Steel Reinforced* adalah kabel yang terdiri dari lapisan luar dari kawat aluminium dan inti tengah berupa kawat baja. Baja memberikan kekuatan struktural yang tinggi sehingga ACSR sangat cocok untuk saluran transmisi tegangan tinggi dengan rentang jarak panjang. Aluminium menghantarkan arus listrik, sedangkan baja menopang beban mekanis

d. ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforced*)

ACAR atau *Aluminium Conductor Alloy Reinforced* adalah jenis kabel yang terdiri dari paduan aluminium sebagai penghantar utama dan serabut logam campuran sebagai penguat. Paduan ini dirancang untuk meningkatkan daya tahan mekanis tanpa mengurangi kemampuan hantaran listrik secara signifikan.

Jenis ini sering digunakan pada saluran distribusi dan transmisi menengah dimana diperlukan kombinasi antara konduktivitas dan kekuatan

Untuk menentukan jenis penghantar baik itu kawat berisolasi maupun kabel, harus ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis yang meliputi tegangan nominalnya, konstruksi (ukuran), dan KHA (kuat hantar arusnya). besarnya nilai resistansi dari penghantar, yang besarnya didasarkan oleh hukum Ohm dalam panas sebagai pengganti satuan listrik yaitu dapat dinyatakan menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana:

R = Nilai resistensi (Ω)

A = Luas penampang penghantar (m^2)

ρ = Resistivitas bahan (Ω/m)

L = Panjang penghantar (m)

Pada sistem instalasi listrik terdapat dua tipe pemasangan hantaran jaringan yaitu jaringan hantaran udara dan jaringan hantara bawah tanah [11]:

2.6.1 Jaringan Hantar Udara

Jaringan distribusi dengan sistem hantaran udara menyalurkan energi listrik melalui kabel yang digantung pada tiang-tiang menggunakan isolator. Karena posisinya terbuka dan langsung berinteraksi dengan lingkungan, jenis jaringan ini cenderung lebih rentan terhadap gangguan, seperti gangguan akibat cuaca, pohon tumbang, atau hewan. Selain itu, keberadaan kabel yang seringkali terpasang tidak beraturan dapat mengganggu estetika lingkungan, terutama di wilayah perkotaan.

Jenis penghantar yang digunakan pada jaringan distribusi udara adalah kabel atau kawat berpilin yang terbuat dari tembaga atau aluminium. Untuk penyangga, jaringan distribusi primer dan sekunder umumnya menggunakan tiang dari bahan besi atau beton, dengan tiang beton dan besi sebagai pilihan yang paling banyak digunakan karena daya tahan dan kekuatannya.

Keuntungan jaringan hantaran udara antara lain:

- Memudahkan ekspansi jaringan dengan cara penambahan cabang baru sesuai kebutuhan.

- Memudahkan dalam proses inspeksi apabila terjadi gangguan.
- Proses pemeliharaan relatif lebih mudah.
- Biaya instalasi lebih murah dibandingkan sistem kabel bawah tanah.
- Pembangunannya tidak terlalu kompleks.
- Tiang distribusi primer dapat difungsikan untuk jaringan sekunder maupun pemasangan transformator.

Kelemahan jaringan hantaran udara antara lain:

- Mengurangi keindahan tata kota.
- Lebih rentan terhadap gangguan eksternal karena terpapar langsung dengan kondisi lingkungan.
- Memiliki tingkat keandalan yang lebih rendah.
- Membutuhkan biaya pemeliharaan yang relatif tinggi.

2.6.2 Jaringan Hantaran Bawah Tanah

Jaringan kabel yang dipasang dibawah tanah dengan beberapa ketentuan pengamanan seperti batas kedalaman dan persyaratan material kabel. Jaringan ini biasanya dipasang pada daerah kerapatan beban tinggi seperti pusat kota ataupun pusat industri. Pemasangan jaringan hantaran bawah tanah lebih baik ditinjau dari keindahan maupun dari segi keamanan. Adapun keuntungan kabel yang dipasang bebas dari gangguan petir atau pun manusia, tidak mengganggu estetika tata kota, keandalannya lebih tinggi, gangguan lebih kecil. Kerugiannya adalah dari jaringan bawah tanah harganya relatif mahal, sulit untuk mendeteksi dan memeriksa gangguan yang terjadi, pemeliharaan tidak bersifat fleksibel [10].

2.7 Susut Jaringan Distribusi

Dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit hingga sampai ke konsumen melalui sistem transmisi dan distribusi terdapat rugi-rugi teknis yang meliputi rugi daya dan rugi energi. Rugi teknis ini terjadi akibat sifat alami dari komponen listrik terutama pada penghantar saluran. Ketika arus listrik mengalir melalui penghantar yang memiliki tahanan maka akan timbul rugi-rugi berupa panas yang dikenal dengan rugi I^2R . Selain pada penghantar, rugi teknis juga terjadi pada peralatan listrik seperti generator dan transformator. Hal ini disebabkan oleh fenomena histeresis dan arus pusar (eddy current) pada inti besi dan belitan yang dilalui arus listrik yang dapat menyebabkan kehilangan energi tambahan dalam bentuk panas. Rugi teknis pada sistem distribusi dapat dihitung sebagai akumulasi rugi-rugi I^2R di seluruh jaringan. Besarnya rugi ini sangat bergantung pada arus yang mengalir,

hususnya saat beban puncak, dan juga dipengaruhi oleh karakteristik pembebanan—apakah beban tersebar merata atau terpusat pada titik tertentu. Karena kondisi beban bersifat dinamis dan selalu berubah-ubah, maka perhitungan rugi teknis harus dilakukan berdasarkan kondisi beban aktual pada waktu tertentu. Secara umum, tingkat susut daya (losses) dalam sistem distribusi berada pada kisaran 5% dari total daya yang disalurkan [8].

Susut energi dalam sistem distribusi listrik dapat disebabkan oleh berbagai faktor teknis, antara lain besarnya beban pada penyulang, jarak yang jauh antara sumber energi dengan lokasi beban, penurunan tegangan (*drop voltage*), ketidakseimbangan beban antar fasa, usia peralatan yang telah menua, serta ukuran (diameter) penghantar yang tidak sesuai. Ketika tingkat susut energi terlalu tinggi maka efisiensi sistem penyaluran energi listrik akan menurun secara signifikan. Tingginya susut energi berdampak langsung terhadap aspek ekonomi dalam proses penyediaan tenaga listrik. Rugi-rugi energi pada sistem distribusi pada dasarnya mencerminkan terjadinya pemborosan dalam biaya produksi dan distribusi energi listrik. Oleh karena itu, sistem penyaluran energi listrik harus dioptimalkan agar seefisien mungkin, sehingga dapat menekan biaya produksi dan meningkatkan ketersediaan energi yang dapat disalurkan. Efisiensi penyaluran energi listrik ini juga berkontribusi pada upaya penghematan energi secara menyeluruh. Apabila terdapat kelebihan pasokan listrik akibat efisiensi yang meningkat, energi tersebut dapat dialihkan dan disalurkan ke wilayah lain yang mengalami kekurangan daya melalui sistem interkoneksi jaringan tenaga listrik nasional [4]. Susut daya atau hilang daya atau rugi daya listrik adalah berkurang atau hilangnya pasokan daya pada proses pengiriman daya listrik dari sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) pada penghantar. Susut daya listrik untuk saluran tiga fasa dinyatakan oleh persamaan (2.11) [2].

$$PL = 3 I^2 R \ell \dots\dots\dots 2.11$$

dimana : PL = Susut Daya (Watt)
 R = Tahanan kawat per fasa (Ω / Km)
 ℓ = Panjang saluran (Km)
 I = Arus beban(A)

Berdasarkan SPLN 1:1978 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria susut daya yang dapat diizinkan tidak boleh lebih dari 2%. Efisiensi atau daya guna saluran adalah perbandingan antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan. Adapun efisiensi dinyatakan oleh persamaan 2.12 [2].

$$\eta = \frac{Pr}{Ps} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.12$$

$$\eta = \frac{Pr}{Pr+PL} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.13$$

dimana : Pr = Daya yang diterima (kW)
 Ps = Daya yang dikirimkan (kW)
 η = Effisiensi daya (%)
 PL = Rugi-rugi daya (kW)

Energi listrik yang hilang dalam perjalanan baik di saluran transmisi maupun di saluran distribusi disebut dengan rugi-rugi atau losses teknis. Sedangkan losses non teknis lebih banyak disebabkan oleh masalah-masalah yang berkaitan dengan pengukuran pemakaian energi listrik di sisi.

2.8 Susut Jaringan

Susut (losses) adalah suatu bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih sejumlah energi listrik yang tersedia dengan sejumlah energi listrik yang terjual. Susut (losses) ini diakibatkan oleh dua faktor yaitu faktor teknis yang berupa masalah jaringan dan faktor non teknis yaitu tidak serempakan dalam pencatatan pemakaian atau dalam perhitungan kWh. Losses sangat erat kaitannya dalam masalah biaya efisiensi, sehingga bisa ditarik kesimpulan semakin tidak efisien (biaya tinggi) maka akan semakin kecil keuntungan dari pendapatan yang diperoleh. Ketidakefisienan biaya yang terjadi dalam aliran energi listrik erat kaitannya dengan permasalahan dalam segi teknologi dan peranan sumber daya manusia. Untuk mengetahui persentase (%) susut (losses) kWh dapat dihitung secara singkat dengan menggunakan formula sebagai berikut :

(Sumber : Surat Keputusan Menteri No.431/KMK.06/2002 susut distribusi sebagai berikut:

$$susut(\%) = \frac{kwh \text{ beli} + kwh \text{ jual}}{kwh \text{ beli}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.14$$

Sedangkan menurut KEPDIR No.217.1.K/DIR/2005 susut distribusi adalah sebagai berikut:

$$susut \text{ Dist} = \frac{siap \text{ salurDist} - siap \text{ kirim} - PSSD - kwh \text{ jual}}{kwh \text{ siap salur ke distribusi}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.15$$

Susut energi listrik secara keseluruhan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu susut teknis dan susut non teknis.

2.8.1 Susut Non Teknis

Susut non teknis adalah hilangnya energi listrik yang tidak tercatat dalam penjualan. Susut ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti pencurian listrik, kesalahan pembacaan meter, dan kesalahan kalibrasi alat ukur. Susut energi listrik dapat berdampak pada biaya efisiensi. Semakin tidak efisien (biaya tinggi), maka akan semakin kecil keuntungan dari pendapatan yang diperoleh. Untuk mengatasi susut non teknis, bisa dilakukan dengan: Menjaga keakuratan kWh meter, Menindak pencurian listrik, Membatasi penerangan jalan umum ilegal, Membatasi pemakaian ilegal.

2.8.2 Susut Teknis

susut teknis adalah susut yang timbul sebagai akibat dari adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi yang mengakibatkan energi yang hilang berupa panas. Susut energi yang ditimbulkan karena adanya unsur material pada jaringan transmisi atau distribusi. Pada sistem distribusi, susut teknis dikelompokkan menjadi dua yaitu susut tegangan menengah (TM) dan susut pada tegangan rendah (TR). Susut pada tegangan menengah meliputi susut pada jaringan atau saluran tegangan menengah dan susut pada gardu atau trafo. Susut tegangan rendah terdiri dari susut pada jaringan atau saluran tegangan rendah dan sambungan rumah. Pada dasarnya susut energi teknis ini berdasarkan susut energi pada komponen yang diakibatkan ada kesalahan pada komponen. Susut energi ini berdasarkan pada komponen yang diakibatkan oleh kesalahan komponen tersebut.

Berdasarkan persamaan 2.16 besarnya susut daya pada penghantar adalah sebagai berikut:

$$P_{kond} = \frac{I^2}{R_{sal}} \dots \dots \dots 2.16$$

Dimana :

P_{kond} = Susut Daya pada Penghantar (W)

I^2 = Arus beban (A)

R_{sal} = Resistansi penghantar (Ω)

Untuk menghitung susut teknik diperlukan data aset meliputi:

1. Single Line Diagram penyulang yang akan diukur (Jaringan Tegangan Menengah).

2. Data saluran Tegangan Menengah (data teknis) yang dibutuhkan meliputi jumlah/jenis phasa, jenis konduktor, tipe penyulang, lokasi penyulang dan ukuran penampang penghantar.

Rugi-rugi didalam jaringan Tegangan Menengah (JTM) disebabkan oleh arus beban yang mengalir di dalam konduktor yang mempunyai parameter rangkaian resistansi (R) dan rekatif (X) yang akan menimbulkan rugi-rugi aktif I^2R (watt) dan rugi-rugi reaktif I^2X (VAR). Sedangkan beban selalu berfluktuasi sepanjang hari (selama 24 jam) yang dapat digambarkan dalam sebuah kurva yang disebut kurva beban harian, sehingga arus bebanpun juga akan ikut berfluktuasi mengikuti kurva beban harian, sehingga rugi-rugi energi aktif (losses kWh) dapat ditulis sebagai persamaan 2.17 dan 2.18

$$\text{Rugi-rugi aktif (P)} = 3 \times I^2 \times R \dots\dots\dots 2.17$$

$$\text{Rugi - rugi energi (w)} = 3 \times I^2 \times t \dots\dots\dots 2.18$$

2.9 Metode Newton Raphson

Pada tahun 1669, Isaac Newton mengembangkan suatu metode numerik untuk menentukan akar dari suatu fungsi yang memiliki turunan pertama. Metode ini kemudian dipublikasikan oleh John Wallis pada tahun 1685. Selanjutnya, pada tahun 1690, Joseph Raphson memodifikasi dan menyederhanakan metode tersebut menjadi bentuk yang lebih praktis dan efisien, sebagaimana dijelaskan oleh Bressoud (2006). Versi gabungan dari metode ini kemudian dikenal luas sebagai *Metode Newton-Raphson*, yang mengacu pada kontribusi kedua tokoh tersebut. Pada awalnya, metode ini dirancang untuk mencari pendekatan akar dari suatu fungsi real yang bernilai nol. Dalam konteks penyelesaian aliran daya pada sistem tenaga listrik, metode Newton-Raphson didasarkan pada pengembangan deret Taylor untuk fungsi multivariabel. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan nonlinier yang kompleks, dengan tujuan untuk menentukan besar tegangan dan sudut fasa pada setiap bus dalam jaringan listrik. Keunggulan metode ini terletak pada konvergensi yang cepat dan tingkat akurasi yang tinggi, terutama untuk sistem dengan ukuran besar dan kompleksitas tinggi [14].

Daya injeksi pada bus i adalah :

$$P_i - jQ_i = V_i \times \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots 2.19$$

Metode Newton Raphson merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan non-linier. Metode ini bekerja dengan cara mengubah persamaan non-linier menjadi bentuk linier melalui pendekatan iteratif, sehingga solusi dari persamaan

non-linier tersebut dapat ditemukan secara bertahap. Metode ini dapat diterapkan baik untuk mencari nilai satu variabel yang tidak diketahui pada sebuah persamaan tunggal, maupun untuk menyelesaikan sistem persamaan non-linier yang terdiri dari beberapa persamaan dengan jumlah dan variabel yang tidak terbatas. [15].

Persamaan daya aktif (P) dapat dilihat pada persamaan 2.20 dibawah ini:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)) \dots \dots \dots 2.20$$

Sedangkan persamaan daya reaktif (Q) dilihat persamaan 2.21 berikut:

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)) \dots \dots \dots 2.21$$

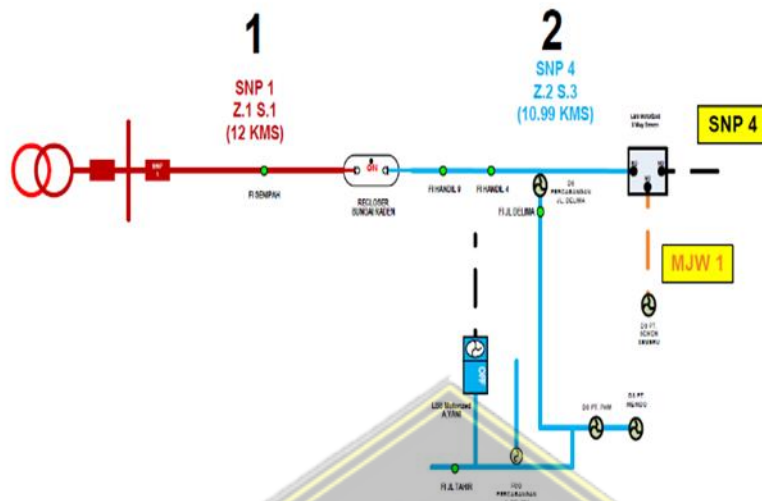
2.10 Sistem Distribusi ULP Samboja

Energi listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik akan disalurkan ke jaringan transmisi. Saluran transmisi yang digunakan oleh PLN adalah transmisi saluran 70KV,150KV,275KV dan sampai saluran transmisi 500 KV. Saluran-saluran tersebut akan berkumpul pada satu titik yang disebut dengan Gardu Induk. Gardu induk yang ada pada ULP Samboja adalah gardu induk Senipah dengan kapasitas 30 MVA. Gardu induk Senipah ini memiliki 4 penyulang dengan beban puncak mencapai 13.60 MW. Dari keempat penyulang tersebut masing masing beban puncak nya adalah SNP 1 sebesar 1.90 MW, SNP 2 4.10 MW, SNP 3 3.10 MW dan SNP4 4.50 MW. Sistem yang dipakai di ULP Samboja menggunakan konfigurasi jaringan Looping sehingga pasokan daya yang disalurkan memiliki keandalan yang cukup baik. Dari hasil Neraca Tabel 2.3 merupakan hasil perhitungan nilai susut total yang dihitung menggunakan neraca produksi dan penjualan ULP Samboja selama satu tahun maka Nilai susut yang diperoleh dari perhitungan tabel 2.3 didapat susut samboja mencapai 8,34%.

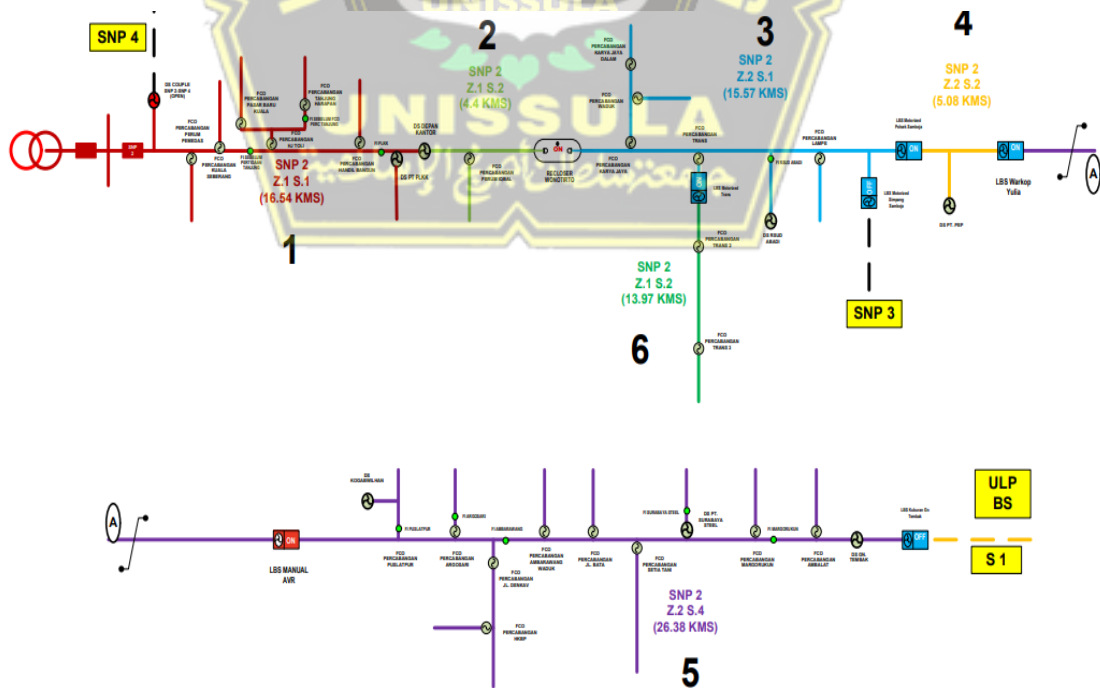
Tabel 2.3 Neraca Produksi dan Penjualan.

			JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DESEMBER	KUMULATIF
Penerimaan	*)	kWh	10.814.530,00	9.434.730,00	11.148.359,00	10.400.583,00	11.167.941,00	10.515.609,00	10.680.317,00	10.338.471,00	10.501.553,00	11.186.600,00	10.836.292,00	10.915.666,00	127.540.651,00
Penjualan total	*)	kWh	9.701.532,62	8.737.547,02	10.105.820,06	9.407.486,08	10.163.231,68	9.624.197,47	9.676.435,87	9.530.025,90	9.498.297,97	10.234.528,14	9.914.254,47	9.923.645,74	116.517.003,00
Penjualan di sisi TT	*)	kWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Penjualan di sisi TM	*)	kWh	3.223.818,00	2.338.582,00	3.161.356,00	2.532.666,00	3.190.459,00	3.033.569,00	3.023.082,00	2.911.719,00	2.765.637,00	3.240.638,00	3.049.388,00	3.032.162,00	35.503.056,00
Penjualan di sisi TR		kWh	6.477.714,62	6.398.965,02	6.944.464,06	6.874.820,08	6.972.772,68	6.590.628,47	6.653.353,87	6.618.306,90	6.732.660,97	6.993.890,14	6.864.866,47	6.891.483,74	81.013.947,00
KWh kirim ke Unit Lain		kWh	84.084,00	29.088,00	30.392,00	28.108,00	40.428,00	31.580,00	42.492,00	20.748,00	17.144,00	22.012,00	16.752,00	18.278,00	381.946,00
PSSD		kWh	61.889,71	58.060,32	62.191,18	60.294,53	62.455,00	60.573,00	62.592,00	62.955,00	61.126,00	63.316,00	61.422,00	63.632,00	740.507,74
Susut total		kWh	966.223,67	610.034,66	949.955,76	904.634,39	901.826,32	799.278,53	888.797,13	724.742,11	924.985,03	866.743,86	843.882,53	910.110,26	10.301.194,26
Susut I 2 R		kWh	693.022,45	619.004,16	746.733,07	717.715,71	744.354,48	688.030,79	698.124,94	659.245,14	707.535,87	727.286,97	700.687,53	696.153,77	8.397.894,88
Susut non I 2 R		kWh	273.201,22	(8.969,50)	203.222,69	186.918,68	157.471,84	111.247,74	200.672,19	65.496,96	217.449,16	139.456,89	143.175,00	213.956,49	1.903.299,38
Susut total		%	8,93	6,47	8,52	8,70	8,08	7,60	8,42	7,01	8,81	7,75	7,79	8,34	8,05
Susut I 2 R		%	6,41	6,56	6,70	6,90	6,67	6,54	6,54	6,38	6,74	6,50	6,47	6,38	6,56
Susut non I 2 R		%	2,53	-0,10	1,82	1,80	1,41	1,06	1,88	0,63	2,07	1,25	1,32	1,96	1,49

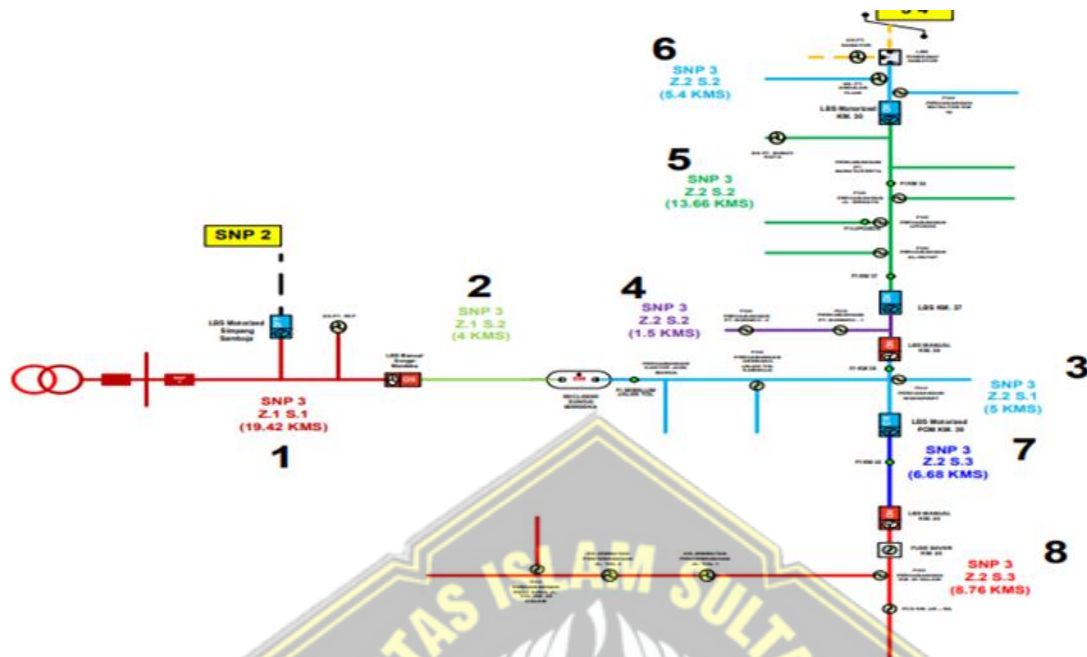
Sistem distribusi tenaga listrik dimulai dari Gardu Induk (GI) Senipah, yang bertindak sebagai sumber utama. Pada tahap ini, listrik dengan tegangan tinggi dialirkan dari pembangkit melalui jaringan transmisi. GI Senipah memiliki peran penting dalam menyalurkan energi dari sistem transmisi ke jaringan distribusi dengan tegangan menengah sebesar 20 kV. Sebelum masuk ke Feeder 4 daya melewati sistem proteksi otomatis yang disebut recloser. Recloser ini memantau arus yang masuk dan memutuskan aliran jika terdeteksi adanya gangguan, seperti korsleting atau lonjakan arus yang berbahaya. Proses ini memastikan bahwa sistem tetap terlindungi dari kerusakan besar yang bisa merusak peralatan atau mengganggu pasokan daya ke pelanggan. Feeder SNP 4 pada Gardu Induk Senipah milik PT PLN (Persero) UID Kaltimra UP3 Balikpapan ULP Samboja menggambarkan aliran energi listrik dari sumber daya utama (Gardu Induk Senipah) menuju berbagai beban, termasuk fasilitas industri, perumahan, dan infrastruktur umum. Diagram ini membantu teknisi, insinyur, dan operator memahami bagaimana daya didistribusikan, bagaimana sistem dilindungi dari gangguan, dan bagaimana efisiensi sistem dijaga. Berikut dapat dilihat pada Gambar 2.11-2.15 single line diagram per section ULP Samboja dan single line diagram feeder SNP 4



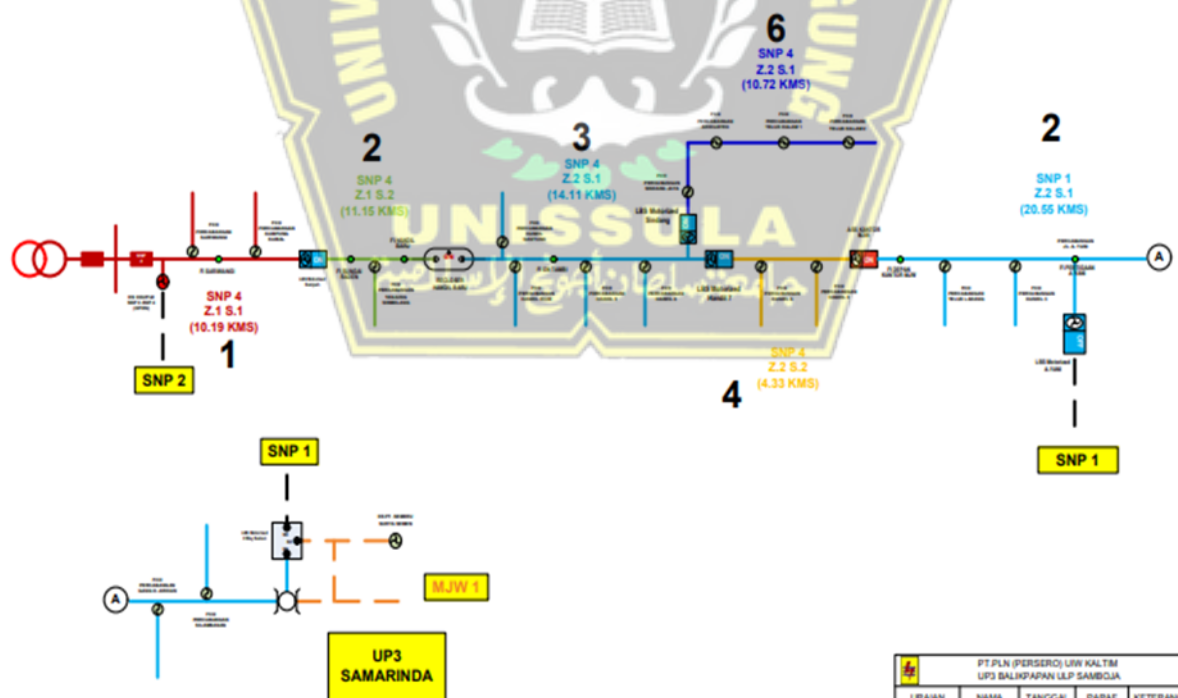
Gambar 2.11 SLD SNP 1 Per Section ULP Samboja



Gambar 2.12 SNP 2 Per Section ULP Samboja

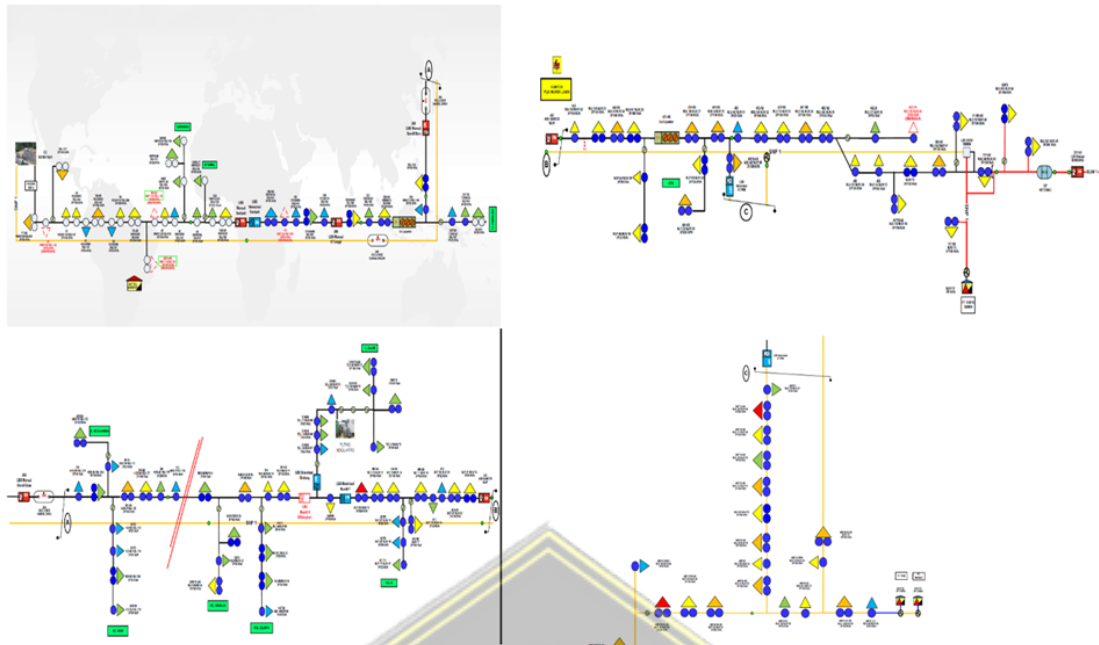


Gambar 2.13 SLD SNP 3 Per Section ULP Samboja



Gambar 2.14 SNP 4 Per Section ULP Samboja

PT PLN (PERSERO) UIR KALTIM				
UP3 BALKAPAPIN ULP SAMBOJA				
URAIAN	NAMA	TANGGAL	PARAF	KETERANG
Direkanan				



Gambar 2.15 Single Line Diagram Feeder SNP 4

2.11 ETAP

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung analisis dan pengelolaan sistem tenaga listrik secara komprehensif. ETAP dapat beroperasi dalam keadaan *offline* untuk melakukan simulasi dan analisis sistem tenaga listrik serta dalam keadaan *online* untuk pemantauan dan pengendalian sistem secara real-time berdasarkan data operasional aktual. Perangkat lunak ini menyediakan beragam fitur fungsional yang mencakup analisis sistem pembangkitan, transmisi, hingga distribusi tenaga listrik yang bermanfaat dalam proses perencanaan, evaluasi, dan pengoptimalan performa sistem tenaga secara menyeluruh [2]. ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) adalah perangkat lunak yang dirancang khusus untuk mendukung perencanaan, analisis, dan pengelolaan sistem tenaga listrik. ETAP dapat beroperasi dalam keadaan *offline* saat melakukan simulasi sistem tenaga serta dalam keadaan *online* untuk pengelolaan data secara real-time maupun pengendalian langsung terhadap sistem. Salah satu keunggulan ETAP adalah kemampuannya dalam membangun proyek sistem tenaga listrik melalui representasi diagram satu garis (one-line diagram), termasuk juga jalur sistem pentanahan (*grounding system*). Perangkat ini mendukung berbagai jenis analisis, di antaranya adalah aliran daya (load flow), hubung singkat (short circuit), start motor (motor starting

analysis), stabilitas transien (transient stability) dan koordinasi proteksi (protection coordination) dan sistem harmonisasi. Sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan.

Perangkat lunak ETAP dikembangkan berdasarkan tiga konsep utama yaitu [8]:

1. Representasi Operasi Berbasis Realitas Virtual (Virtual Reality Operasi)
2. Integrasi Data Secara Menyeluruh (Total Integration Data)
3. Kemudahan dalam Proses Input Data (Simplicity in Data Entry).

Suatu sistem tenaga terdiri atas sub-sub bagian salah satunya adalah analisa aliran daya (Power Flow)

ETAP menawarkan berbagai jenis analisis teknis yang mencakup evaluasi penurunan tegangan (*drop voltage*), faktor daya (*power factor*), serta kerugian daya dalam jaringan (*network losses*). Salah satu keunggulan dari ETAP adalah kemampuannya untuk memberikan notifikasi atau peringatan terhadap kondisi tegangan rendah (*under voltage*) maupun tegangan tinggi (*over voltage*) pada setiap bus, sehingga pengguna dapat dengan mudah mengidentifikasi bagian sistem yang tidak beroperasi secara optimal. ETAP memungkinkan pengguna untuk bekerja secara interaktif melalui antarmuka diagram satu garis (*one-line diagram*) yang bersifat grafis, serta mendukung representasi sistem kabel bawah tanah (*underground raceway system*). Perangkat lunak ini dirancang berdasarkan tiga prinsip utama, yaitu virtual operation reality, integrasi data secara menyeluruh, dan kemudahan dalam proses input data, yang menjadikan ETAP sebagai alat yang efisien dan andal dalam analisis sistem tenaga listrik [12]. Fitur analisis aliran daya (*power flow analysis*) pada perangkat lunak ETAP memungkinkan perhitungan berbagai parameter penting dalam sistem tenaga listrik, seperti tegangan pada setiap bus, arus yang mengalir di setiap cabang, serta besarnya daya aktif dan reaktif yang mengalir dalam jaringan. Analisis ini sangat berguna untuk mengevaluasi kondisi operasi normal sistem dan memastikan kestabilan serta efisiensi distribusi daya.

ETAP menyediakan tiga metode perhitungan aliran daya yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan dan tingkat kompleksitas sistem, yaitu:

1. Metode Newton-Raphson dikenal dengan konvergensi yang cepat dan tingkat akurasi tinggi, cocok untuk sistem besar dan kompleks.
2. Metode Fast-Decoupled menawarkan efisiensi perhitungan lebih tinggi dengan waktu komputasi yang lebih singkat, meskipun dengan sedikit kompromi pada akurasi.

3. Metode Gauss-Seidel lebih sederhana namun kurang efisien dan tidak secepat metode lainnya dalam hal konvergensi, biasanya digunakan untuk sistem kecil atau sebagai pembelajaran dasar.

Dengan fleksibilitas dalam pemilihan metode ini, ETAP dapat disesuaikan untuk berbagai skenario analisis sistem tenaga listrik secara optimal [2]. Elemen-elemen dalam ETAP merupakan suatu sistem tenaga listrik yang terdapat beberapa komponen utama antara lain aliran daya (power flow) dan hubung singkat (short circuit). Untuk menjalankan simulasi kedua jenis analisis tersebut di ETAP, diperlukan sejumlah data teknis dari berbagai elemen sistem tenaga. Data-data tersebut menjadi input penting dalam membangun model sistem secara akurat dan meliputi:

1. Data sumber (source): seperti pembangkit listrik atau suplai eksternal, meliputi tegangan nominal, impedansi internal, daya aktif dan reaktif maksimum/minimum.
2. Data transformator: rasio transformasi, kapasitas daya, impedansi, koneksi belitan, serta tipe pendinginan.
3. Data saluran transmisi atau penghantar: panjang saluran, impedansi (resistansi dan reaktansi), kapasitas arus maksimum, serta jenis kabel.
4. Data beban: besar daya aktif dan reaktif, tipe beban (konstanta impedansi, arus, atau daya), serta lokasi koneksi beban.
5. Data bus (penghubung): tegangan nominal, lokasi dalam sistem, serta jenis bus (slack, PV, atau PQ bus).
6. Data proteksi dan breaker: arus nominal, waktu pemutusan, dan setting proteksi untuk kebutuhan analisis hubung singkat.

Dengan data yang lengkap dan akurat ETAP dapat digunakan untuk mensimulasikan kondisi operasi sistem tenaga dan mengevaluasi kinerja serta keandalannya baik dalam keadaan normal maupun saat terjadi gangguan [2]:

- Data Generator
- Data Transformator
- Data Kawat Penghantar
- Data Beban
- Data Bus
- Run Load Flow adalah icon toolbar aliran daya yang menghasilkan atau menampilkan

hasil perhitungan aliran daya sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram satu garis.

- Update Cable Load Current adalah icon toolbar untuk merubah kapasitas arus pada kabel sebelum load flow di running
- Display Option adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
- Alert adalah icon untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
- Report Manager adalah icon untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk report yang dapat dicetak.

Analisis Hubung Singkat (*Short-Circuit Analysis*) yang ada diperangkat lunak ETAP sebagai analisa dari berbagai jenis gangguan hubung singkat kedalam sistem tenaga listrik meliputi gangguan tiga fasa, satu fasa ke tanah, antar fasa, serta dua fasa ke tanah. Program ini menghitung besaran total arus hubung singkat yang terjadi pada sistem, sehingga memungkinkan evaluasi dan perencanaan proteksi yang akurat. ETAP Power Station mengacu pada standar internasional seperti *ANSI/IEEE* (seri C37) dan *IEC* (IEC 909) dalam proses analisisnya, dan pengguna dapat memilih standar sesuai dengan kebutuhan spesifik sistem yang dianalisis. Untuk memulai analisis ini, langkah awal yang dilakukan adalah menggambar Single Line Diagram (SLD) dari sistem tenaga listrik secara lengkap dengan mencantumkan semua komponen dan peralatan yang terlibat. Diagram ini menjadi dasar bagi ETAP dalam melakukan simulasi dan perhitungan gangguan hubung singkat secara tepat.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Model penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Pendekatan penelitian menggunakan data yang diperoleh dari PT. PLN ULP Samboja berupa single line diagram, jenis, panjang dan diameter penghantar, jumlah trafo distribusi, data trafo distribusi meliputi kapasitas trafo, tegangan, impedansi dan tap trafo, serta arus beban yang terpakai pada penyulang Senipah 4. Kemudian dilakukan analisis data dengan menggunakan perhitungan manual menggunakan rumus I^2R dan analisis dengan menggunakan Software ETAP 12.6. Hasil yang diperoleh dari kedua analisa ini akan dibandingkan untuk selanjutnya diperoleh cara untuk melakukan optimasi daya pada saluran Senipah 4 ULP Samboja.

3.2 Jenis Penelitian

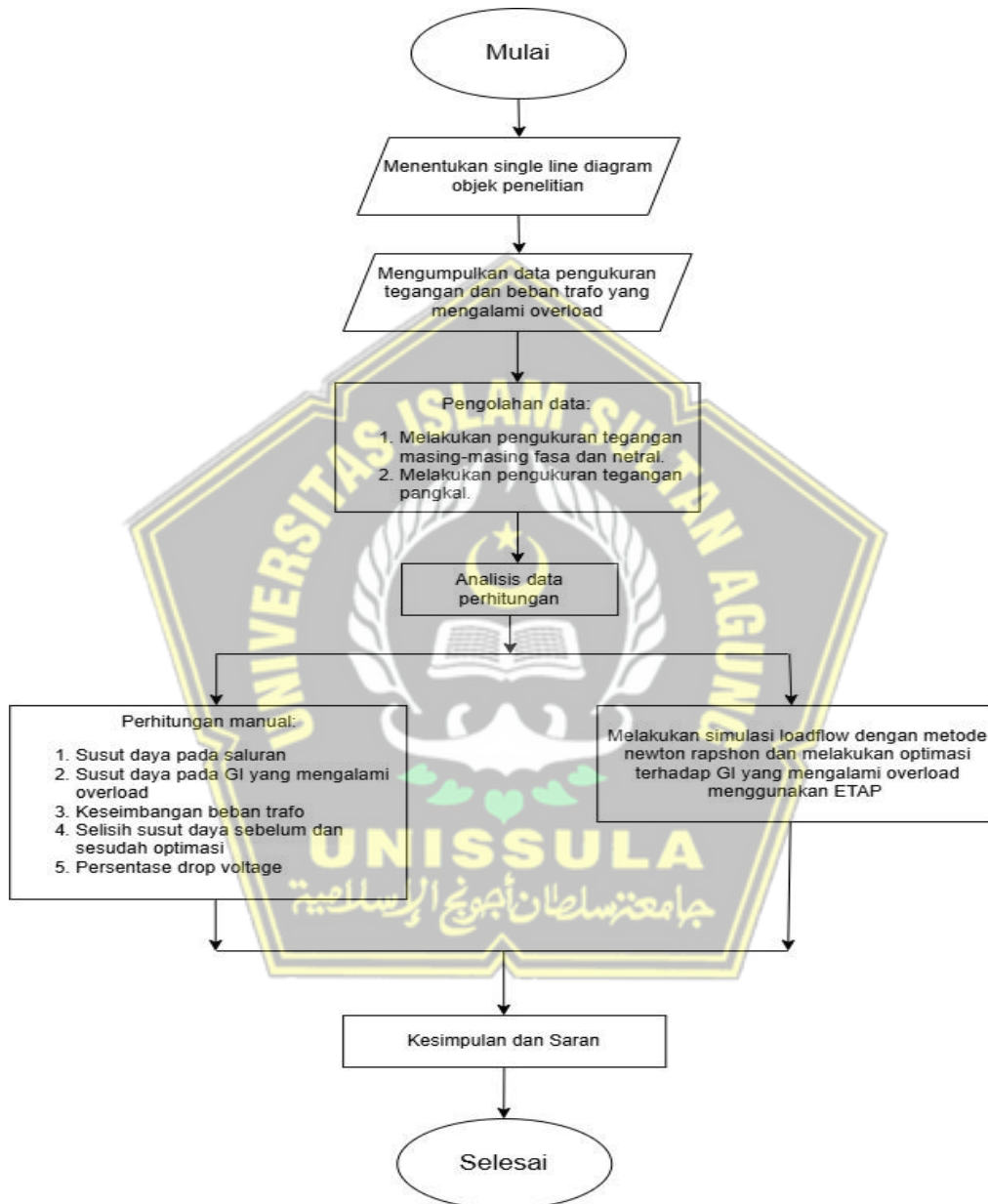
Metode Penelitian bertujuan untuk menganalisis besarnya susut teknis yang terjadi pada jaringan distribusi penyulang 20 kV Feeder SNP 4 ULP Samboja. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data langsung di lapangan, didukung oleh analisis simulasi menggunakan perangkat lunak dan melalui perhitungan dari data yang diperoleh di lapangan melalui pengukuran beban yang ada pada gambar 2.15 sebagai acuan untuk menentukan nilai susut teknis. Untuk mengetahui besarnya susut energi atau rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi, langkah awal yang dilakukan adalah pengumpulan data langsung di lapangan. Tahapan pertama dalam proses ini mencakup studi literatur, yang bertujuan untuk memahami dan menelaah hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai referensi atau acuan ilmiah dalam mendukung pelaksanaan penelitian ini. Analisis yang dilakukan difokuskan pada rugi-rugi teknis (susut teknis), yaitu kerugian energi listrik yang timbul akibat adanya impedansi pada saluran penghantar jaringan distribusi. Kerugian ini dihitung berdasarkan total rugi-rugi yang terjadi di sepanjang saluran distribusi, mulai dari output trafo distribusi (gardu distribusi) hingga ke titik beban terjauh dari sumber. Adapun kerugian energi yang terjadi pada instalasi pelanggan (rumah) tidak termasuk dalam cakupan perhitungan ini. Penelitian ini dilakukan di salah satu area pelayanan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yakni PLN ULP Samboja UP3 Balikpapan.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan setelah memperoleh persetujuan seminar proposal dan dijadwalkan pada bulan Februari 2025 sampai selesai. Pengambilan data penelitian dalam

rangka mengetahui nilai penurunan susut teknis pada penyulang senipah 4 bertempat di PT. PLN ULP Samboja yang beralamat JL. Balikpapan handil Kelurahan Kampung Lama Kecamatan Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara.

3.4 Diagram Alur Pelaksanaan



Gambar 3.1 Diagram Alur Pelaksanaan

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan pengambilan data aset yang ada di ULP Samboja a dengan cara survey,observasi dan study literatur .

a) Survey

Penelitian ini diawali dengan melakukan survey langsung ke lokasi PT. PLN (Persero) ULP Samboja untuk memperoleh gambaran kondisi nyata di lapangan serta mengumpulkan data-data yang dibutuhkan. Data yang dikumpulkan tersebut diperlukan sebagai dasar dalam pelaksanaan dan analisis penelitian ini antara lain meliputi:

1. Diagram satu garis atau SLD
2. Jenis penghantar
3. Panjang penghantar
4. Diameter penghantar
5. Jumlah trafo distribusi
6. Data trafo distribusi meliputi kapasitas trafo, tegangan, impedansi dan tap trafo
7. Arus beban yang terpakai pada penyulang Senipah 4

Berikut dapat disajikan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 data asset penyulang Senipah 1 dan Senipah 4

Tabel 3.1 Data Aset Dan Penyulang Senipah-01

Nama Penyulang dan aset : Senipah 01

No	Beban		Kapasitas	Satuan
1	Beban Penyulang	:	2,2	MW
ASET				
2	Panjang Penyulang	:	29,47	Kms
3	Jenis konduktor	:		
	A3CS 70mm2	:	0	Kms
	A3CS 150mm2	:	25	Kms
	A3C 70mm2	:	4,47	Kms
	A3C 150mm2	:	0	Kms
	MVTIC	:	0	Kms
4	Jenis Tiang (Khusus SUTM	:		
	Tiang Beton 11 meter	:	0	bh
	Tiang Beton 13 meter	:	500	bh
	Tiang Besi 9 meter	:	89	bh
5	Jumlah Trafo	:	24	bh

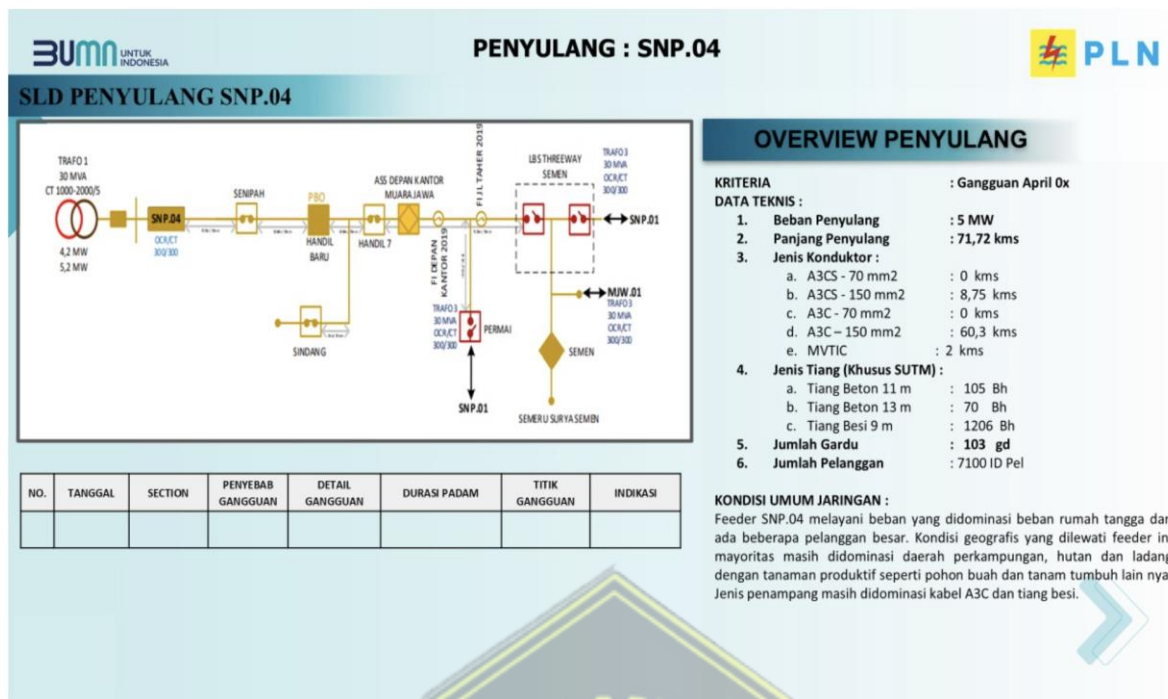
Tabel 3.2 Data dan Asset Penyulang Senipah 4

Nama Penyulang : Senipah 04

No	Beban		Kapasitas	Satuan
1	Beban Penyulang	:	5,0	MW
ASET				
2	Panjang Penyulang	:	71,72	Kms
3	Jenis konduktor	:		
	A3CS 70mm2	:	0	Kms
	A3CS 150mm2	:	8,75	Kms
	A3C 70mm2	:	0	Kms
	A3C 150mm2	:	60,3	Kms
	MVTIC	:	2	Kms
4	Jenis Tiang (Khusus SUTM	:		
	Tiang Beton 11 meter	:	105	bh
	Tiang Beton 13 meter	:	70	bh
	Tiang Besi 9 meter	:	1206	bh
5	Jumlah Trafo	:	103	bh



Gambar 3.2 Overview Penyulang Senipah 1



Gambar 3.3 Overview Penyulang Senipah 4

b) Observasi

Metode pengumpulan data dengan cara observasi adalah untuk mengamati langsung objek penelitian di lapangan untuk memperoleh data-data yang sesuai agar mendapatkan data yang faktual dan nyata berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh petugas lapangan. Data-data tersebut nantinya akan dilakukan analisa untuk memperoleh nilai susut secara perhitungan manual dan menggunakan aplikasi ETAP . Selain itu juga dilakukan perbaikan-perbaikan agar memperoleh nilai susut yang diinginkan.

c) Study literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari buku-buku, jurnal, artikel dan lain-lain yang berfungsi sebagai referensi yang berhubungan judul penelitian ini. Mempelajari banyak hal dari berbagai sumber agar bisa menerapkan bagaimana cara perbaikan untuk mengurangi susut teknis. Mempelajari dari berbagai sumber yang diperoleh dapat memahami kita melalui berbagai pendekatan, teknologi, dan pengalaman dari sumber-sumber sebelumnya yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi.

3.6 Teknik Analisis Data

Proses untuk memahami dan menganalisa data yang diperoleh dari proses pengambilan data. Proses ini dapat mengetahui apakah suatu sistem dapat bekerja dengan baik atau tidak.

Dalam proses ini digunakan perhitungan manual dan menggunakan *software* ETAP 12.6 dengan tujuan untuk membandingkan dari kedua perhitungan tersebut. Berikut ini adalah perhitungan yang akan dilakukan.

A. Perhitungan Persentase Susut Daya Pada Saluran

$$\% \text{ Losses} = \frac{\text{Susut daya}(kw)}{\text{Kapasitas}(kw)} \times 100\%$$

B. Perhitungan Susut Daya Pada Setiap Gardu Overload

$$\text{Losses} = i^2 \times R \times L$$

Ket:

i = beban ditanggung (kw)

R = tahanan kabel (ohm)

L = Panjang Saluran (km)

C. Perhitungan Keseimbangan Beban Trafo

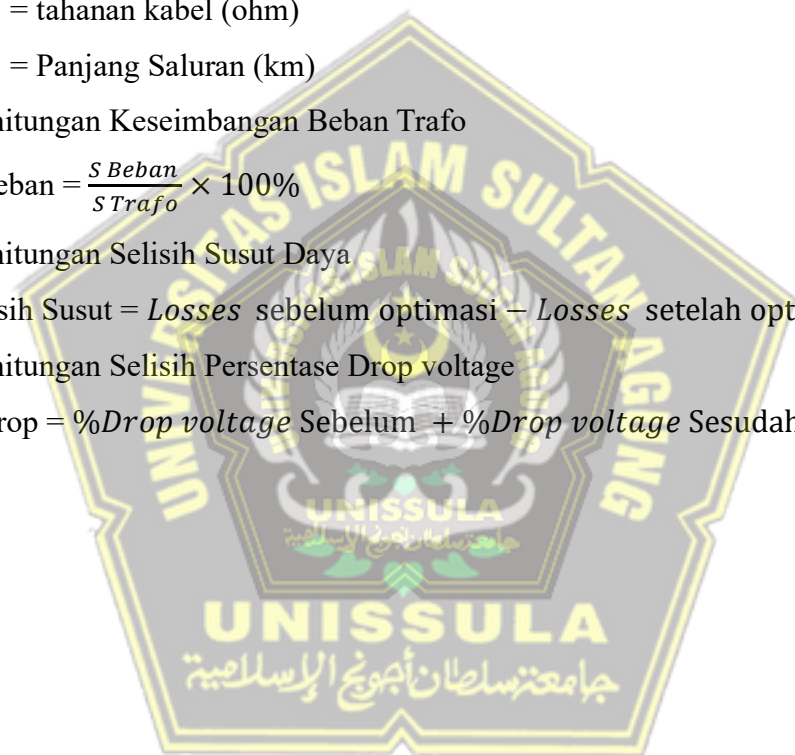
$$\% \text{Beban} = \frac{S_{\text{Beban}}}{S_{\text{Trafo}}} \times 100\%$$

D. Perhitungan Selisih Susut Daya

Selisih Susut = *Losses* sebelum optimasi – *Losses* setelah optimasi

E. Perhitungan Selisih Persentase Drop voltage

%Drop = %*Drop voltage* Sebelum + %*Drop voltage* Sesudah Optimas



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

4.1.1 Prosedur Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 12.6

1. Menjalankan Program ETAP

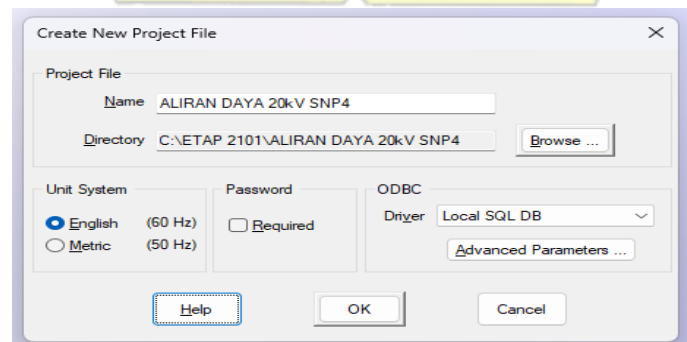
Program ETAP 12.6 dapat digunakan setelah diinstall ke dalam komputer. Program dijalankan dengan cara mengklik program ETAP. Setelah program dijalankan maka akan tampak kotak dialog (dialog box) seperti Gambar berikut :



Gambar 4.1 Kotak Dialog ETAP 12.6

2. Membuat studi kasus

Klik file, *new project* akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar berikut :

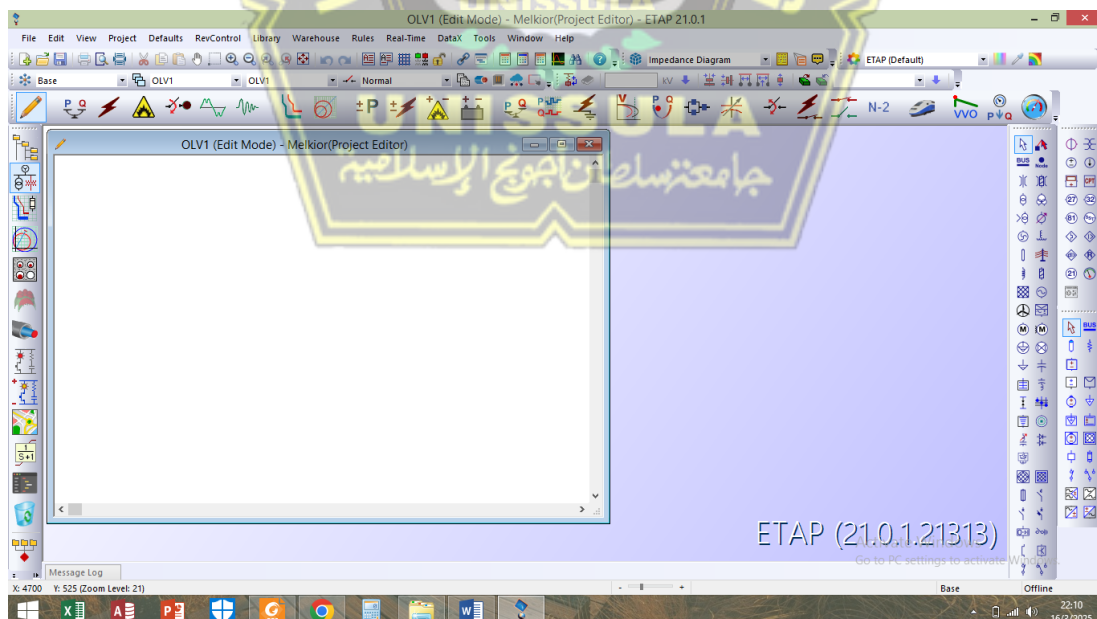


Gambar 4.2 Kotak Dialog New Project

Setelah itu tulis name project, dan pilih unit system dan required password sesuai dengan kebutuhan. Kemudian klik OK, dan akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar berikut :

Gambar 4.3 Kotak Dialog User Information

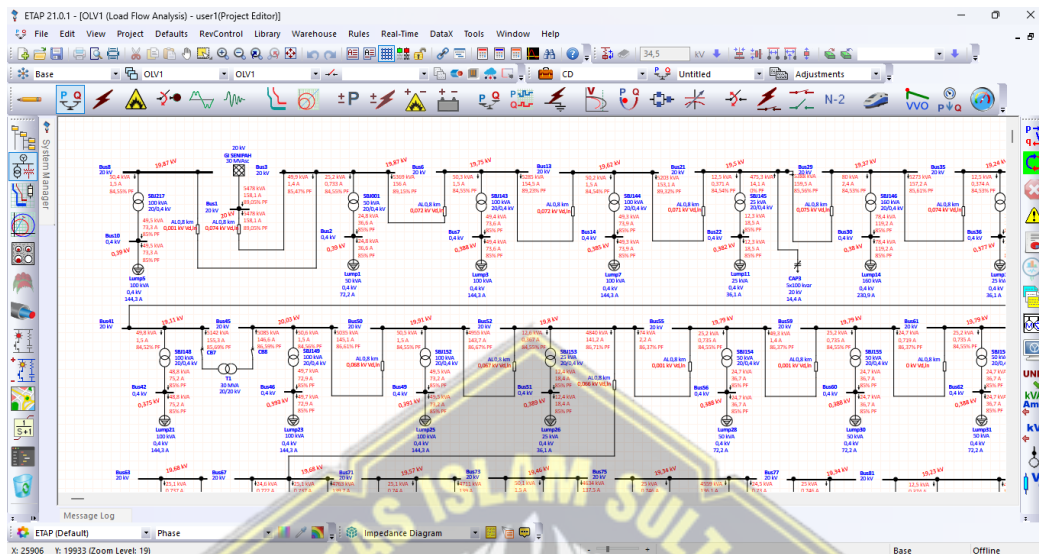
Masukan user name; full name; description; password kemudian klik OK selanjutnya akan tampil kotak dialog seperti pada Gambar berikut :



Gambar 4.4 Kotak Dialog Analisis ETAP

3. Membuat One Line Diagram

Pada gambar diatas terdapat jendela untuk menggambar one-line diagram, buat one-line diagram sesuai gambar aslinya. Hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut ini :



Gambar 4.5 Hasil Single Line Diagram

4. Memasukkan data studi kasus

a. Nama Busbar

Untuk mengidentifikasi bus yang terinterkoneksi

b. Tipe Busbar

- Bus referensi/slack/swing bus

Dalam penelitian ini, bus referensi adalah sistem aliran daya 20kV SNP.4

- Data Transformator

Data yang perlu dimasukkan pada kotak dialog transformator adalah: rating daya trafo, impedans baik urutan positif maupun urutan nol, rating kV, hubungan belitan transformator. Kotak dialog tranformator ditunjukkan pada Tabel 4.1-4.3 berikut ini :

Tabel 4.1 Data Transformator SNP 4(1)

2-Winding Transformer Input Data

Transformer		Rating					Z Variation			% Tap		Adjusted		Phase Shift	
ID	Phas	MVA	Prim	Sec.	%Z1	Xl/Rl	+5%	-5%	% Tol.	Prim	Sec.	% Z	Type	Angle	
MJW001	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW002	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW003	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW004	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW005	3-	0,160	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW006	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW007	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW008	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW009	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW010	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW011	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW012	3-	0,200	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW013	3-	0,160	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW014	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW015	3-	0,025	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW016	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW017	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW018	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW020	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW021	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW022	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW023	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW024	3-	0,160	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW025	3-	0,160	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW026	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW027	3-	0,050	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW028	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW029	3-	0,200	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW030	3-	0,160	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW031	3-	0,025	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW032	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW033	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW034	3-	0,160	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW035	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW036	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW037	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW039	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW041	3-	0,100	20,000	0,400	4,00	4,00	1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000

Tabel 4.2 Data Transformator SNP 4 (2)

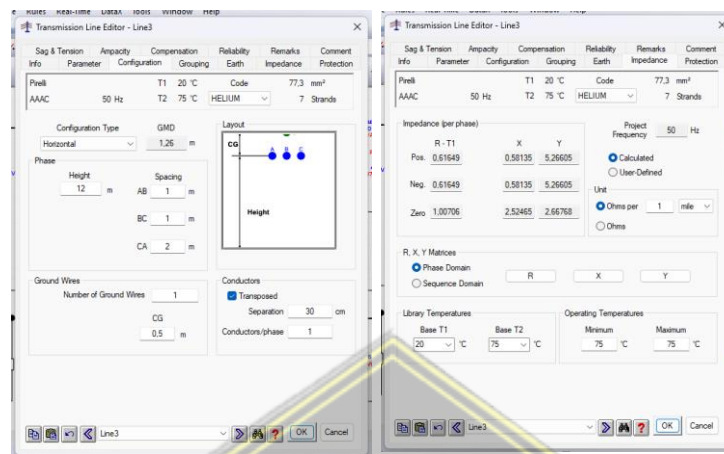
Transformer		Rating					Z Variation			% Tap		Adjusted		Phase Shift	
ID	Phas	MVA	Prim	Sec.	%Zl	Xl/Rl	+5%	-5%	%Tol.	Prim	Sec.	% Z	Type	Angle	
MJW042	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW043	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW044	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW045	3-	0,200	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW046	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW047	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW048	3-	0,200	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW049	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW50	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW051	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW052	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW053	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW054	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW055	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW056	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW057	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW058	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW066	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW067	3-	0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW068	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW069	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW070	3-	0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW071	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW072	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW073	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW074	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW076	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW077	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW079	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW080	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW081	3-	0,200	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
MJW084	3-	0,200	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ001	3-	0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ143	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ144	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ145	3-	0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ146	3-	0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ147	3-	0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ148	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ149	3-	0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000

Tabel 4.3 Data Transformator SNP 4 (3)

Transformer	Rating						Z Variation			% Tap		Adjusted	Phase Shift			
	ID	Phas	MVA	Prim	Sec.	%ZI	XI/R1	+5%	-5%	%Tol.	Prim	Sec.	%Z	Type	Angle	
SBJ152	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ153	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ154	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ155	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ156	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ157	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ158	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ159	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ160	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ161	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ163	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ164	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ165	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ166	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ167	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ168	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ169	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ170	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ171	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ172	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ173	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ174	3-		0,025	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ175	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ176	3-		0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ177	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ178	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ180	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ181	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ182	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ183	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ201	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ210	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ217	3-		0,100	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ223	3-		0,160	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
SBJ226	3-		0,050	20,000	0,400	4,00		1,50	0	0	0	0	0	4,0000	Dyn	0,000
T1	3-		30,000	20,000	20,000	12,50		45,00	0	0	0	0	0	12,5000	Dyn	0,000
T3	3-		20,000	20,000	20,000	12,50		45,00	0	0	0	0	0	12,5000	Dyn	0,000
T5	3-		15,000	20,000	20,000	12,50		45,00	0	0	0	0	0	12,5000	Dyn	0,000
T12	3-		15,000	20,000	20,000	12,50		45,00	0	0	0	0	0	12,5000	Dyn	0,000
T14	3-		10,000	20,000	20,000	12,50		45,00	0	0	0	0	0	12,5000	Dyn	0,000

c. Data Jaringan Transmisi

Pada jaringan transmisi data yang harus dimasukkan adalah: panjang jaringan, konfigurasi jaringan dan data impedans jaringan: R, X, dan Y baik urutan positif maupun urutan nol seperti gambar 4.6 berikut ini :

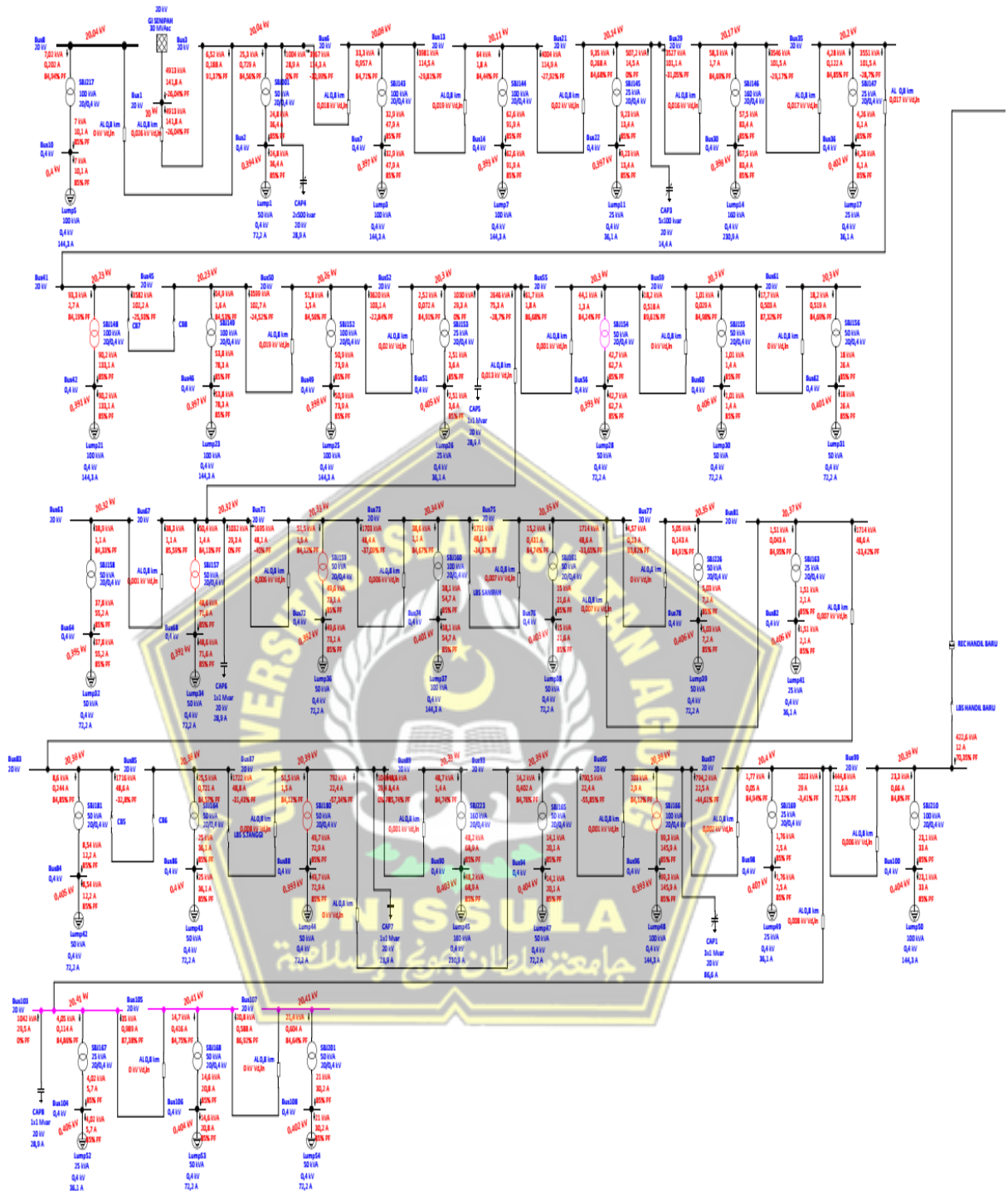


Gambar 4.6 Data Jaringan Transmisi

4.2 Studi Kasus Aliran Daya

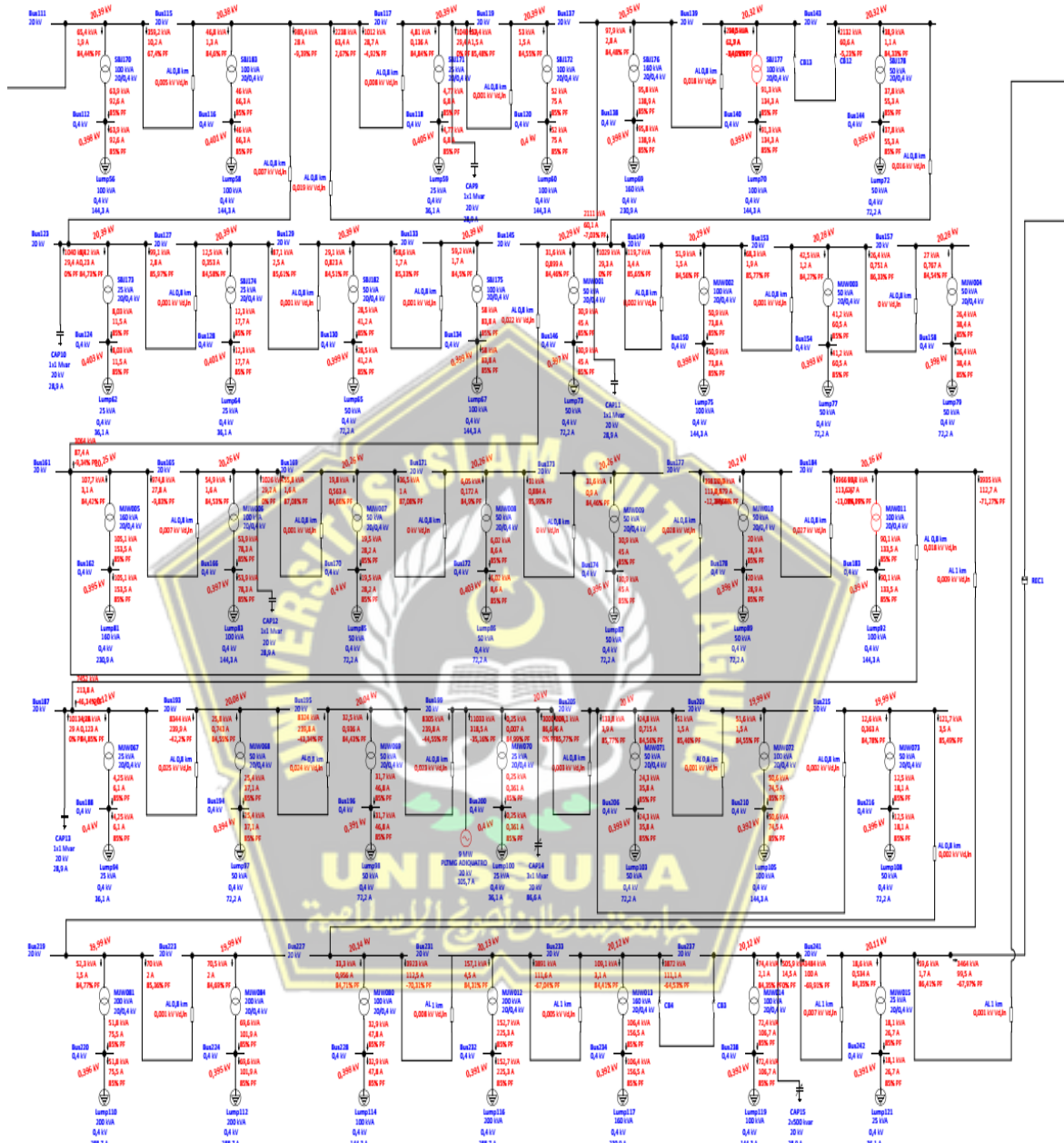
Setelah semua data sistem dimasukkan, maka langkah terakhir adalah memasukkan data setingan studi kasus. Data yang harus dimasukkan ke dalam kotak dialog adalah: Studi Kasus ID, Metode yang digunakan (dalam penelitian ini dipilih metode Newto-Rhapson), maksimum iterasi (99 iterasi), ketelitian (0,0001), kategori pembebanan (dipilih design), bus voltage (dalam kV), dan initial condition (digunakan tegangan bus). Untuk jelasnya, kotak dialog studi kasus aliran daya ditunjukkan pada Gambar 4.7-4.9 berikut ini :

1. Load flow analysis bagian 1



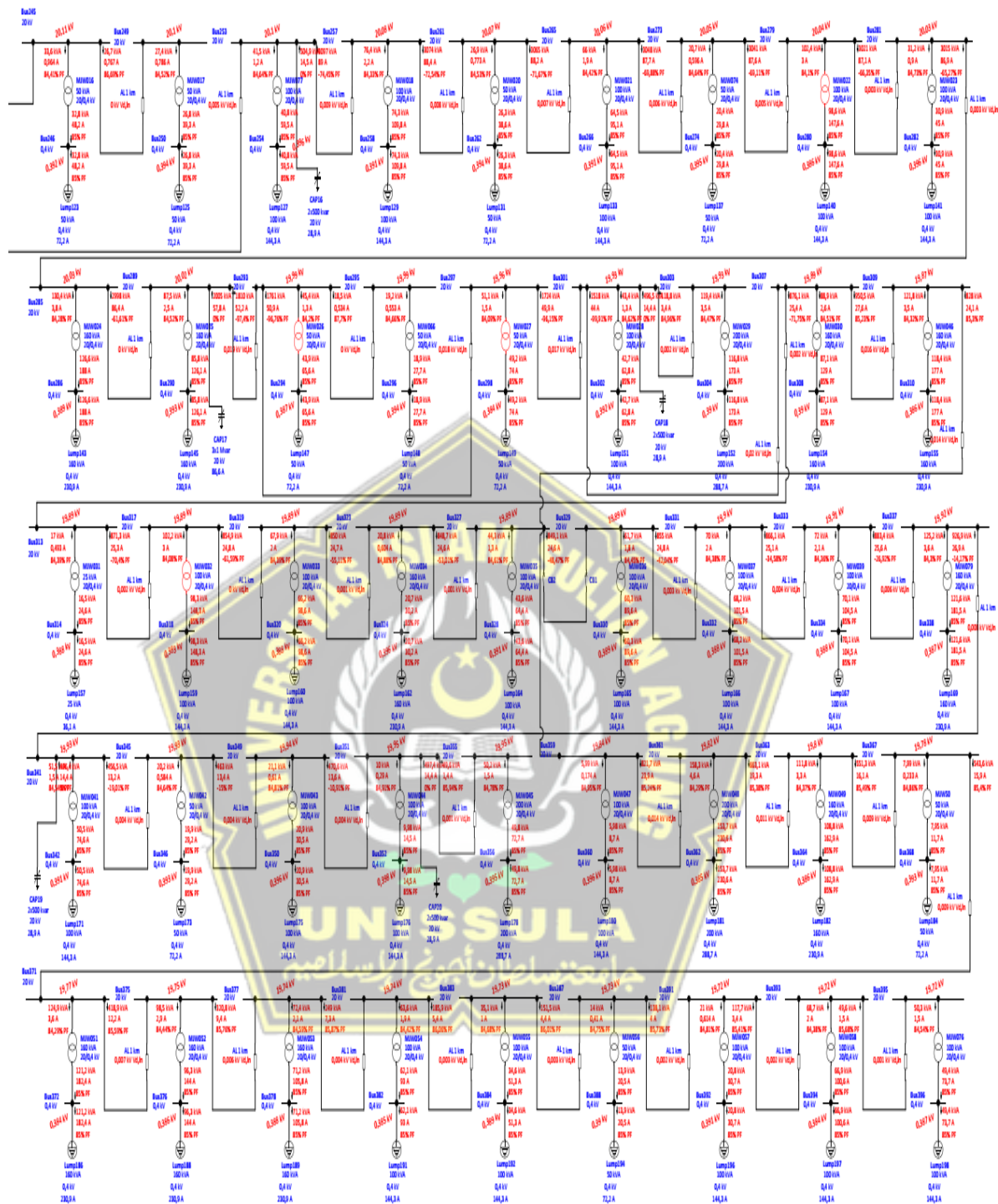
Gambar 4.7 Simulasi Load Flow Bagian 1

2. Load flow analysis bagian 2



Gambar 4.8 Simulasi Load Flow Bagian 2

3. Load flow analysis bagian 3



Gambar 4.9 Simulasi Load Flow Bagian 3

4.2.1 Hasil Simulasi Analisis Load Flow

Berikut uraian berdasarkan simulasi ETAP untuk sistem jaringan listrik tegangan menengah 20kV SNP.4 dapat dilihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 dengan data sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil Analisis Load Flow (1)

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
MJW001	Transf. 2W	0,0267	0,0169	0,899	84,46	70,2	2,27	0,431	0,646
MJW002	Transf. 2W	0,0439	0,0277	1,476	84,56	57,6	1,86	0,58	0,87
MJW003	Transf. 2W	0,0358	0,0229	1,21	84,27	94,5	3,06	0,78	1,17
MJW004	Transf. 2W	0,0228	0,0144	0,767	84,54	59,9	1,94	0,314	0,47
MJW005	Transf. 2W	0,0909	0,0577	3,07	84,42	71,8	2,43	1,57	2,35
MJW006	Transf. 2W	0,0464	0,0293	1,565	84,53	61	1,98	0,652	0,978
MJW007	Transf. 2W	0,0167	0,0105	0,563	84,66	43,9	1,42	0,169	0,253
MJW008	Transf. 2W	0,0051	0,0032	0,172	84,9	13,4	0,43	0,0158	0,0237
MJW009	Transf. 2W	0,0267	0,0169	0,9	84,46	70,2	2,27	0,432	0,647
MJW010	Transf. 2W	0,0171	0,0108	0,579	84,65	45	1,46	0,178	0,268
MJW011	Transf. 2W	0,0785	0,0503	2,669	84,19	103,5	3,38	1,9	2,85
MJW012	Transf. 2W	0,132	0,0845	4,506	84,31	87,3	2,85	2,7	4,06
MJW013	Transf. 2W	0,0921	0,0585	3,13	84,41	72,7	2,47	1,63	2,45
MJW014	Transf. 2W	0,0627	0,04	2,135	84,35	82,7	2,7	1,21	1,82
MJW015	Transf. 2W	0,0157	0,01	0,534	84,35	84,5	2,7	0,304	0,455
MJW016	Transf. 2W	0,0283	0,018	0,964	84,41	74,6	2,44	0,495	0,742
MJW017	Transf. 2W	0,0231	0,0146	0,786	84,52	60,9	1,99	0,329	0,494
MJW018	Transf. 2W	0,0644	0,0411	2,197	84,33	84,9	2,78	1,28	1,93
MJW020	Transf. 2W	0,0227	0,0143	0,773	84,53	59,7	1,95	0,318	0,477
MJW021	Transf. 2W	0,0557	0,0354	1,901	84,42	73,4	2,4	0,962	1,44
MJW022	Transf. 2W	0,0861	0,0554	2,951	84,1	113,8	3,74	2,32	3,48
MJW023	Transf. 2W	0,0265	0,0166	0,9	84,73	34,7	1,14	0,216	0,324
MJW024	Transf. 2W	0,11	0,0702	3,761	84,28	87	2,97	2,35	3,53
MJW025	Transf. 2W	0,074	0,0468	2,523	84,52	58,3	1,99	1,06	1,59
MJW026	Transf. 2W	0,0382	0,0245	1,312	84,2	100,9	3,32	0,916	1,37
MJW027	Transf. 2W	0,043	0,0277	1,479	84,09	113,7	3,74	1,17	1,75
MJW028	Transf. 2W	0,0367	0,0231	1,256	84,62	48,2	1,59	0,42	0,63
MJW029	Transf. 2W	0,101	0,0639	3,46	84,47	66,3	2,19	1,59	2,39
MJW030	Transf. 2W	0,0752	0,0476	2,581	84,51	59,3	2,04	1,11	1,66
MJW031	Transf. 2W	0,0143	0,0091	0,493	84,39	77,2	2,49	0,259	0,388
MJW032	Transf. 2W	0,0859	0,0553	2,966	84,08	113,5	3,75	2,34	3,51
MJW033	Transf. 2W	0,0573	0,0364	1,971	84,39	75,4	2,49	1,03	1,55
MJW034	Transf. 2W	0,0177	0,011	0,604	84,88	13,9	0,48	0,0607	0,0911
MJW035	Transf. 2W	0,0375	0,0236	1,287	84,61	49,3	1,63	0,441	0,662
MJW036	Transf. 2W	0,0521	0,0331	1,792	84,45	68,6	2,26	0,855	1,28
MJW037	Transf. 2W	0,059	0,0376	2,03	84,38	77,7	2,57	1,1	1,65
MJW039	Transf. 2W	0,0608	0,0387	2,09	84,36	80	2,64	1,16	1,74
MJW041	Transf. 2W	0,0436	0,0275	1,493	84,54	57,2	1,89	0,593	0,89
MJW042	Transf. 2W	0,0171	0,0107	0,584	84,64	44,8	1,47	0,181	0,272
MJW043	Transf. 2W	0,0179	0,0112	0,61	84,81	23,4	0,77	0,0991	0,149
MJW044	Transf. 2W	0,0085	0,0053	0,29	84,91	11,1	0,37	0,0224	0,0335
MJW045	Transf. 2W	0,0426	0,0266	1,454	84,78	27,9	0,92	0,281	0,422
MJW046	Transf. 2W	0,103	0,0655	3,54	84,32	81,2	2,8	2,08	3,13
MJW047	Transf. 2W	0,0051	0,0032	0,174	84,95	6,7	0,22	0,0081	0,0121
MJW048	Transf. 2W	0,133	0,0852	4,612	84,29	88	2,92	2,83	4,25
MJW049	Transf. 2W	0,0943	0,06	3,259	84,37	77,1	2,57	1,77	2,65
MJW50	Transf. 2W	0,0068	0,0042	0,233	84,86	17,8	0,59	0,029	0,0435
MJW051	Transf. 2W	0,105	0,0672	3,648	84,29	86,1	2,88	2,21	3,32
MJW052	Transf. 2W	0,0832	0,0528	2,88	84,44	67,9	2,27	1,38	2,07
MJW053	Transf. 2W	0,0612	0,0386	2,117	84,59	49,9	1,67	0,746	1,12
MJW054	Transf. 2W	0,0537	0,0341	1,861	84,42	70,7	2,35	0,922	1,38
MJW055	Transf. 2W	0,0297	0,0187	1,027	84,68	39	1,3	0,281	0,421
MJW056	Transf. 2W	0,0119	0,0074	0,41	84,75	31,1	1,04	0,0896	0,134
MJW057	Transf. 2W	0,0178	0,0111	0,614	84,81	23,3	0,78	0,1	0,151
MJW058	Transf. 2W	0,058	0,0369	2,012	84,38	76,4	2,54	1,08	1,62

Tabel 4.5 Hasil Analisis Load Flow (2)

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
MJW066	Transf. 2W	0,0162	0,0102	0,553	84,66	42,6	1,4	0,163	0,245
MJW067	Transf. 2W	0,0036	0,0023	0,123	84,85	19,4	0,62	0,016	0,024
MJW068	Transf. 2W	0,0218	0,0138	0,743	84,55	57,4	1,88	0,294	0,441
MJW069	Transf. 2W	0,0274	0,0174	0,936	84,43	72,2	2,37	0,467	0,7
MJW070	Transf. 2W	0,0002	0,0001	0,007	84,99	1,1	0,04	0,0001	0,0001
MJW071	Transf. 2W	0,0209	0,0132	0,715	84,56	55	1,81	0,272	0,409
MJW072	Transf. 2W	0,0436	0,0275	1,49	84,55	57,3	1,88	0,591	0,886
MJW073	Transf. 2W	0,0107	0,0067	0,363	84,78	27,9	0,92	0,0701	0,105
MJW074	Transf. 2W	0,0175	0,011	0,596	84,64	46	1,51	0,189	0,284
MJW076	Transf. 2W	0,0425	0,0269	1,473	84,54	55,9	1,86	0,578	0,867
MJW077	Transf. 2W	0,0351	0,0221	1,191	84,64	46,1	1,5	0,378	0,566
MJW079	Transf. 2W	0,106	0,0673	3,63	84,3	83,5	2,87	2,19	3,29
MJW080	Transf. 2W	0,0282	0,0177	0,956	84,71	37	1,21	0,243	0,365
MJW081	Transf. 2W	0,0443	0,0277	1,51	84,77	29,1	0,95	0,304	0,456
MJW084	Transf. 2W	0,0597	0,0375	2,037	84,69	39,2	1,29	0,553	0,829
SBJ001	Transf. 2W	0,0214	0,0135	0,729	84,56	80,5	1,84	0,283	0,424
SBJ143	Transf. 2W	0,0282	0,0177	0,957	84,71	37	1,21	0,244	0,366
SBJ144	Transf. 2W	0,0541	0,0343	1,839	84,44	71,2	2,32	0,9	1,35
SBJ145	Transf. 2W	0,0079	0,005	0,268	84,68	10,4	1,35	0,0765	0,115
SBJ146	Transf. 2W	0,0493	0,031	1,667	84,69	38,8	1,32	0,463	0,694
SBJ147	Transf. 2W	0,0036	0,0023	0,122	84,85	4,8	0,62	0,016	0,0239
SBJ148	Transf. 2W	0,0786	0,0503	2,663	84,19	103,7	3,37	1,89	2,83
SBJ149	Transf. 2W	0,0464	0,0293	1,567	84,53	61	1,98	0,653	0,98
SBJ152	Transf. 2W	0,0438	0,0277	1,477	84,56	57,6	1,87	0,581	0,871
SBJ153	Transf. 2W	0,0021	0,0013	0,072	84,91	11,5	0,36	0,0055	0,0082
SBJ154	Transf. 2W	0,0371	0,0238	1,254	84,24	98	3,17	0,838	1,26
SBJ155	Transf. 2W	0,0009	0,0005	0,029	84,98	2,2	0,07	0,0004	0,0007
SBJ156	Transf. 2W	0,0155	0,0097	0,519	84,69	40,6	1,31	0,143	0,215
SBJ157	Transf. 2W	0,0424	0,0272	1,432	84,13	112	3,62	1,09	1,64
SBJ158	Transf. 2W	0,0328	0,0209	1,105	84,33	86,4	2,79	0,65	0,975
SBJ159	Transf. 2W	0,0433	0,0278	1,462	84,12	114,4	3,7	1,14	1,71
SBJ160	Transf. 2W	0,0327	0,0205	1,095	84,67	42,9	1,38	0,319	0,479
SBJ161	Transf. 2W	0,0129	0,0081	0,431	84,74	33,8	1,09	0,099	0,149
SBJ163	Transf. 2W	0,0013	0,0008	0,043	84,95	6,9	0,22	0,002	0,0029
SBJ164	Transf. 2W	0,0215	0,0136	0,721	84,57	56,6	1,82	0,277	0,416
SBJ165	Transf. 2W	0,012	0,0075	0,402	84,76	31,5	1,01	0,086	0,129
SBJ166	Transf. 2W	0,0867	0,0557	2,917	84,12	114,5	3,69	2,27	3,4
SBJ167	Transf. 2W	0,0034	0,0021	0,114	84,86	9	0,58	0,014	0,0209
SBJ168	Transf. 2W	0,0125	0,0078	0,416	84,75	32,7	1,05	0,0922	0,138
SBJ169	Transf. 2W	0,0015	0,0009	0,05	84,94	8	0,25	0,0027	0,004
SBJ170	Transf. 2W	0,0552	0,035	1,852	84,44	72,7	2,34	0,913	1,37
SBJ171	Transf. 2W	0,0041	0,0025	0,136	84,84	21,8	0,69	0,0197	0,0296
SBJ172	Transf. 2W	0,0448	0,0283	1,501	84,55	58,9	1,9	0,6	0,899
SBJ173	Transf. 2W	0,0069	0,0043	0,23	84,73	36,9	1,16	0,0563	0,0844
SBJ174	Transf. 2W	0,0106	0,0067	0,353	84,58	56,7	1,78	0,133	0,199
SBJ175	Transf. 2W	0,05	0,0317	1,676	84,5	65,8	2,12	0,748	1,12
SBJ176	Transf. 2W	0,0827	0,0524	2,779	84,48	65,3	2,19	1,29	1,93
SBJ177	Transf. 2W	0,0796	0,051	2,685	84,19	105	3,4	1,92	2,88
SBJ178	Transf. 2W	0,0328	0,0209	1,105	84,33	86,4	2,79	0,65	0,975
SBJ180	Transf. 2W	0,0433	0,0279	1,459	84,12	114,5	3,69	1,13	1,7
SBJ181	Transf. 2W	0,0073	0,0045	0,244	84,85	19,1	0,61	0,0316	0,0474
SBJ182	Transf. 2W	0,0246	0,0155	0,823	84,51	64,6	2,08	0,361	0,542
SBJ183	Transf. 2W	0,0396	0,025	1,326	84,6	52	1,67	0,468	0,702
SBJ201	Transf. 2W	0,0181	0,0114	0,604	84,64	47,5	1,53	0,194	0,292
SBJ210	Transf. 2W	0,0198	0,0123	0,66	84,8	25,9	0,83	0,116	0,174
SBJ217	Transf. 2W	0,006	0,0037	0,202	84,94	7,8	0,25	0,0109	0,0163
SBJ223	Transf. 2W	0,0413	0,0258	1,378	84,74	32,5	1,09	0,316	0,474
SBJ226	Transf. 2W	0,0043	0,0027	0,143	84,91	11,2	0,36	0,0109	0,0164

Dari hasil tabel 4.4 dan 4.5 diatas, dapat dilihat ada beberap gardu yang mengalami *Overload*, diantaranya adalah terlihat pada tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4.6 Gardu Yang Mengalami Overload

Critical Report

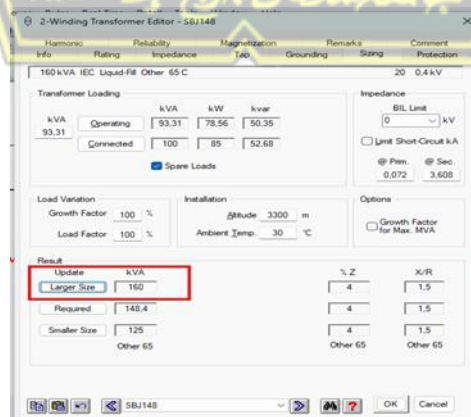
Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
MJW011	Transformer	Overload	0.090	MVA	0.093	103.5	3-Phase
MJW022	Transformer	Overload	0.090	MVA	0.102	113.8	3-Phase
MJW026	Transformer	Overload	0.045	MVA	0.045	100.9	3-Phase
MJW027	Transformer	Overload	0.045	MVA	0.051	113.7	3-Phase
MJW032	Transformer	Overload	0.090	MVA	0.102	113.5	3-Phase
SBJ148	Transformer	Overload	0.090	MVA	0.093	103.7	3-Phase
SBJ157	Transformer	Overload	0.045	MVA	0.050	112.0	3-Phase
SBJ159	Transformer	Overload	0.045	MVA	0.051	114.4	3-Phase
SBJ166	Transformer	Overload	0.090	MVA	0.103	114.5	3-Phase
SBJ177	Transformer	Overload	0.090	MVA	0.094	105.0	3-Phase
SBJ180	Transformer	Overload	0.045	MVA	0.052	114.5	3-Phase

Sedangkan untuk *Losses* berdasarkan hasil simulasi ETAP sebesar 719,8 kW & 485,7 kVAR.

4.2.2 Simulasi Optimasi Aliran Daya

Adapun langkah untuk mengoptimasi jaringan tersebut melalui ETAP, diantaranya Sizing transformator secara otomatis, berikut langkahnya :

- Double klik transformator yang terjadi *Overload*, contoh : SBJ148,
- lalu klik tab sizing,
- lalu klik Operating, contoh seperti gambar 4.10 dibawah ini :



Gambar 4.10 Pengaturan Optimasi

Terlihat bahwa kapasitas trafo harus sebesar 148.4 kVA, sehingga kita memilih menggunakan trafo 160 kVA sesuai dengan besaran kapasitas yang tersedia di pabrik trafo. Lakukan-langkah ini di setiap trafo yang mengalami *Overload*.

Berikut tabel 4.7 dan tabel 4.8 hasil load flow setelah trafo yang mengalami *Overload* teroptimasi:

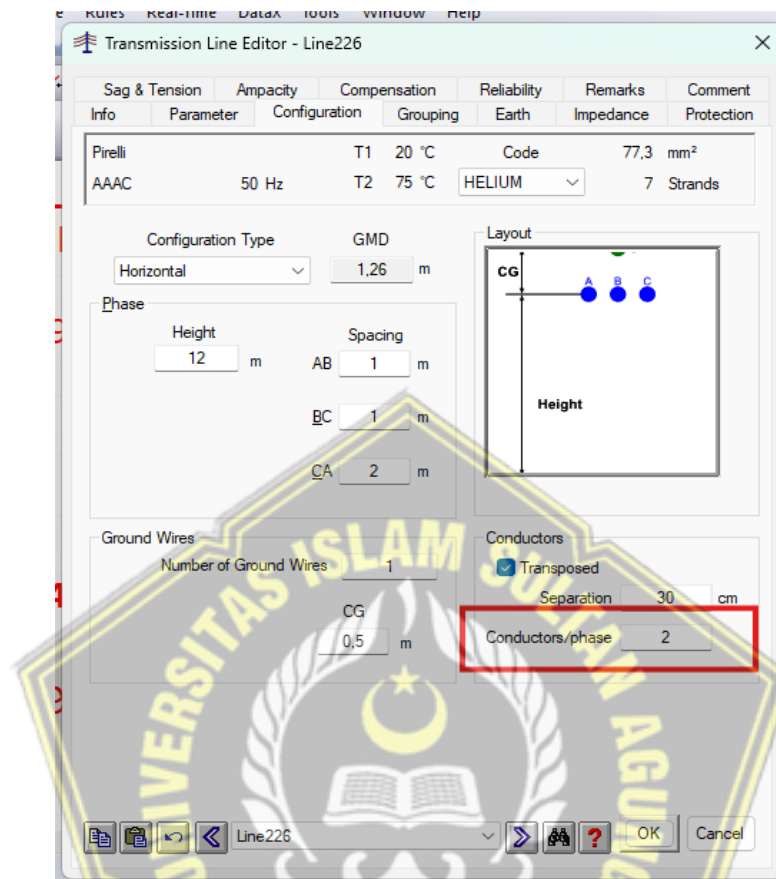
Tabel 4.7 Hasil Setelah Optimasi (1)

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
MJW001	Transf. 2W	0,0267	0,0169	0,899	84,46	70,2	2,27	0,431	0,646
MJW002	Transf. 2W	0,0439	0,0277	1,476	84,56	57,6	1,86	0,58	0,87
MJW003	Transf. 2W	0,0358	0,0229	1,21	84,27	94,5	3,06	0,779	1,17
MJW004	Transf. 2W	0,0228	0,0144	0,767	84,54	59,9	1,94	0,314	0,47
MJW005	Transf. 2W	0,0909	0,0577	3,07	84,42	71,8	2,42	1,57	2,35
MJW006	Transf. 2W	0,0464	0,0294	1,565	84,53	61	1,98	0,652	0,978
MJW007	Transf. 2W	0,0167	0,0105	0,563	84,66	43,9	1,42	0,169	0,253
MJW008	Transf. 2W	0,0051	0,0032	0,172	84,9	13,4	0,43	0,0158	0,0237
MJW009	Transf. 2W	0,0267	0,0169	0,9	84,46	70,2	2,27	0,431	0,647
MJW010	Transf. 2W	0,0171	0,0108	0,579	84,65	45	1,46	0,178	0,268
MJW011	Transf. 2W	0,0781	0,0494	2,648	84,5	92	2,09	1,17	1,75
MJW012	Transf. 2W	0,132	0,0845	4,506	84,31	87,3	2,85	2,7	4,05
MJW013	Transf. 2W	0,0921	0,0585	3,13	84,41	72,7	2,47	1,63	2,45
MJW014	Transf. 2W	0,0627	0,04	2,135	84,35	82,7	2,7	1,21	1,82
MJW015	Transf. 2W	0,0157	0,01	0,534	84,35	84,5	2,7	0,304	0,455
MJW016	Transf. 2W	0,0283	0,018	0,964	84,41	74,6	2,44	0,495	0,742
MJW017	Transf. 2W	0,0231	0,0146	0,786	84,52	60,9	1,99	0,329	0,494
MJW018	Transf. 2W	0,0644	0,0411	2,197	84,33	84,9	2,78	1,28	1,93
MJW020	Transf. 2W	0,0227	0,0143	0,772	84,53	59,7	1,95	0,318	0,477
MJW021	Transf. 2W	0,0558	0,0354	1,901	84,42	73,4	2,4	0,962	1,44
MJW022	Transf. 2W	0,0856	0,054	2,916	84,56	80,5	1,84	1,13	1,7
MJW023	Transf. 2W	0,0265	0,0166	0,9	84,73	34,7	1,14	0,216	0,324
MJW024	Transf. 2W	0,11	0,0702	3,76	84,28	87	2,97	2,35	3,53
MJW025	Transf. 2W	0,074	0,0468	2,522	84,52	58,3	1,99	1,06	1,59
MJW026	Transf. 2W	0,0381	0,0241	1,301	84,5	89,6	2,05	0,563	0,845
MJW027	Transf. 2W	0,0427	0,027	1,461	84,55	80,4	1,85	0,569	0,853
MJW028	Transf. 2W	0,0367	0,0231	1,256	84,62	48,2	1,59	0,42	0,63
MJW029	Transf. 2W	0,101	0,0639	3,46	84,47	66,4	2,19	1,59	2,39
MJW030	Transf. 2W	0,0752	0,0476	2,58	84,51	59,3	2,04	1,11	1,66
MJW031	Transf. 2W	0,0143	0,0091	0,493	84,39	77,2	2,49	0,258	0,388
MJW032	Transf. 2W	0,0853	0,0539	2,93	84,55	80,3	1,85	1,14	1,71
MJW033	Transf. 2W	0,0573	0,0364	1,971	84,39	75,4	2,49	1,03	1,55
MJW034	Transf. 2W	0,0177	0,011	0,604	84,88	13,9	0,48	0,0607	0,0911
MJW035	Transf. 2W	0,0375	0,0236	1,287	84,61	49,3	1,63	0,441	0,662
MJW036	Transf. 2W	0,0521	0,0331	1,791	84,45	68,6	2,26	0,854	1,28
MJW037	Transf. 2W	0,059	0,0376	2,03	84,38	77,7	2,57	1,1	1,65
MJW039	Transf. 2W	0,0608	0,0387	2,089	84,36	80,1	2,64	1,16	1,74
MJW041	Transf. 2W	0,0436	0,0275	1,492	84,54	57,3	1,89	0,593	0,89
MJW042	Transf. 2W	0,0171	0,0107	0,584	84,64	44,8	1,47	0,181	0,272
MJW043	Transf. 2W	0,0179	0,0112	0,61	84,81	23,4	0,77	0,0991	0,149
MJW044	Transf. 2W	0,0085	0,0053	0,29	84,91	11,1	0,37	0,0223	0,0335
MJW045	Transf. 2W	0,0426	0,0266	1,454	84,78	27,9	0,92	0,281	0,422
MJW046	Transf. 2W	0,103	0,0655	3,539	84,32	81,2	2,8	2,08	3,13
MJW047	Transf. 2W	0,0051	0,0032	0,174	84,95	6,7	0,22	0,0081	0,0121
MJW048	Transf. 2W	0,133	0,0852	4,612	84,29	88	2,92	2,83	4,25
MJW049	Transf. 2W	0,0943	0,06	3,258	84,37	77,1	2,57	1,77	2,65
MJW050	Transf. 2W	0,0068	0,0042	0,233	84,86	17,8	0,59	0,029	0,0435
MJW051	Transf. 2W	0,105	0,0672	3,647	84,29	86,1	2,88	2,21	3,32
MJW052	Transf. 2W	0,0832	0,0528	2,879	84,44	68	2,27	1,38	2,07
MJW053	Transf. 2W	0,0612	0,0386	2,117	84,59	49,9	1,67	0,745	1,12
MJW054	Transf. 2W	0,0537	0,0341	1,86	84,42	70,7	2,35	0,922	1,38
MJW055	Transf. 2W	0,0297	0,0187	1,027	84,68	39	1,3	0,281	0,421
MJW056	Transf. 2W	0,0119	0,0074	0,41	84,75	31,1	1,04	0,0896	0,134
MJW057	Transf. 2W	0,0178	0,0111	0,614	84,81	23,3	0,77	0,1	0,151
MJW058	Transf. 2W	0,058	0,0369	2,012	84,38	76,4	2,54	1,08	1,62

Tabel 4.8 Hasil Setelah Optimasi (2)

ID	Type	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
MJW066	Transf. 2W	0,0162	0,0102	0,553	84,66	42,6	1,4	0,163	0,245
MJW067	Transf. 2W	0,0036	0,0023	0,123	84,85	19,4	0,62	0,016	0,024
MJW068	Transf. 2W	0,0218	0,0138	0,743	84,55	57,4	1,88	0,294	0,441
MJW069	Transf. 2W	0,0274	0,0174	0,936	84,43	72,2	2,37	0,467	0,7
MJW070	Transf. 2W	0,0002	0,0001	0,007	84,99	1,1	0,04	0,0001	0,0001
MJW071	Transf. 2W	0,0209	0,0132	0,715	84,56	55	1,81	0,272	0,409
MJW072	Transf. 2W	0,0436	0,0275	1,49	84,55	57,3	1,88	0,591	0,886
MJW073	Transf. 2W	0,0107	0,0067	0,363	84,78	27,9	0,92	0,0701	0,105
MJW074	Transf. 2W	0,0175	0,011	0,596	84,64	46	1,51	0,189	0,284
MJW076	Transf. 2W	0,0425	0,0269	1,473	84,54	55,9	1,86	0,578	0,866
MJW077	Transf. 2W	0,0351	0,0221	1,191	84,64	46,1	1,5	0,378	0,566
MJW079	Transf. 2W	0,106	0,0674	3,629	84,3	83,5	2,87	2,19	3,29
MJW080	Transf. 2W	0,0282	0,0177	0,955	84,71	37	1,21	0,243	0,365
MJW081	Transf. 2W	0,0443	0,0277	1,51	84,77	29,1	0,95	0,304	0,456
MJW084	Transf. 2W	0,0597	0,0375	2,037	84,69	39,2	1,29	0,553	0,829
SBJ001	Transf. 2W	0,0214	0,0135	0,729	84,56	80,5	1,84	0,283	0,424
SBJ143	Transf. 2W	0,0282	0,0177	0,957	84,71	37	1,21	0,244	0,366
SBJ144	Transf. 2W	0,0541	0,0343	1,839	84,44	71,1	2,32	0,9	1,35
SBJ145	Transf. 2W	0,0079	0,005	0,268	84,68	10,4	1,35	0,0765	0,115
SBJ146	Transf. 2W	0,0493	0,031	1,667	84,69	38,8	1,32	0,463	0,694
SBJ147	Transf. 2W	0,0036	0,0023	0,122	84,85	4,8	0,62	0,016	0,0239
SBJ148	Transf. 2W	0,0782	0,0495	2,642	84,5	92,1	2,09	1,16	1,74
SBJ149	Transf. 2W	0,0464	0,0293	1,567	84,53	61	1,98	0,654	0,98
SBJ152	Transf. 2W	0,0438	0,0277	1,477	84,56	57,6	1,87	0,581	0,872
SBJ153	Transf. 2W	0,0021	0,0013	0,072	84,91	11,5	0,36	0,0055	0,0082
SBJ154	Transf. 2W	0,037	0,0234	1,245	84,53	87,1	1,97	0,516	0,774
SBJ155	Transf. 2W	0,0009	0,0005	0,029	84,98	2,2	0,07	0,0004	0,0007
SBJ156	Transf. 2W	0,0155	0,0097	0,519	84,69	40,5	1,31	0,144	0,215
SBJ157	Transf. 2W	0,0422	0,0266	1,416	84,57	79,3	1,79	0,534	0,801
SBJ158	Transf. 2W	0,0328	0,0209	1,105	84,33	86,4	2,79	0,65	0,975
SBJ159	Transf. 2W	0,043	0,0272	1,445	84,57	81	1,83	0,556	0,834
SBJ160	Transf. 2W	0,0327	0,0205	1,095	84,67	42,9	1,38	0,319	0,479
SBJ161	Transf. 2W	0,0129	0,0081	0,431	84,74	33,8	1,09	0,0991	0,149
SBJ163	Transf. 2W	0,0013	0,0008	0,043	84,95	6,9	0,22	0,002	0,0029
SBJ164	Transf. 2W	0,0215	0,0136	0,722	84,57	56,6	1,82	0,277	0,416
SBJ165	Transf. 2W	0,012	0,0075	0,402	84,76	31,5	1,01	0,086	0,129
SBJ166	Transf. 2W	0,0862	0,0544	2,882	84,57	81,1	1,82	1,11	1,66
SBJ167	Transf. 2W	0,0034	0,0021	0,114	84,86	9	0,58	0,014	0,0209
SBJ168	Transf. 2W	0,0125	0,0078	0,416	84,75	32,7	1,05	0,0922	0,138
SBJ169	Transf. 2W	0,0015	0,0009	0,05	84,94	8	0,25	0,0027	0,004
SBJ170	Transf. 2W	0,0552	0,035	1,852	84,45	72,7	2,34	0,913	1,37
SBJ171	Transf. 2W	0,0041	0,0025	0,136	84,84	21,9	0,69	0,0197	0,0296
SBJ172	Transf. 2W	0,0448	0,0283	1,5	84,55	58,9	1,9	0,599	0,899
SBJ173	Transf. 2W	0,0069	0,0043	0,23	84,73	36,9	1,16	0,0562	0,0844
SBJ174	Transf. 2W	0,0106	0,0067	0,353	84,58	56,7	1,78	0,133	0,199
SBJ175	Transf. 2W	0,05	0,0317	1,676	84,5	65,8	2,12	0,748	1,12
SBJ176	Transf. 2W	0,0827	0,0524	2,779	84,48	65,3	2,19	1,28	1,93
SBJ177	Transf. 2W	0,0792	0,0501	2,664	84,5	93,3	2,1	1,18	1,77
SBJ178	Transf. 2W	0,0328	0,0209	1,105	84,33	86,4	2,79	0,65	0,975
SBJ180	Transf. 2W	0,0431	0,0272	1,442	84,57	81,1	1,82	0,554	0,831
SBJ181	Transf. 2W	0,0073	0,0045	0,244	84,85	19,1	0,61	0,0316	0,0474
SBJ182	Transf. 2W	0,0246	0,0155	0,823	84,51	64,6	2,08	0,361	0,541
SBJ183	Transf. 2W	0,0396	0,025	1,326	84,6	52	1,67	0,468	0,702
SBJ201	Transf. 2W	0,0181	0,0114	0,604	84,64	47,5	1,53	0,195	0,292
SBJ210	Transf. 2W	0,0198	0,0123	0,659	84,8	25,9	0,83	0,116	0,174
SBJ217	Transf. 2W	0,006	0,0037	0,202	84,94	7,8	0,25	0,0109	0,0163
SBJ223	Transf. 2W	0,0413	0,0258	1,379	84,74	32,5	1,09	0,316	0,475
SBJ226	Transf. 2W	0,0043	0,0027	0,143	84,91	11,2	0,36	0,0109	0,0164

Dari hasil optimasi diatas, terlihat sudah tidak ada trafo yang mengalami *Overload*. Untuk mengurangi *Losses* kW dan kVar, kita bisa optimasi dengan menambahkan konduktor per phase, berikut langkahnya :



Gambar 4.11 Optimasi Konduktor

Didapatkan untuk *Losses* setelah optimasi tersebut berdasarkan hasil simulasi ETAP sebesar 439,9 kW & 246,9 kVAR.

4.3 Analisis Data

Pada bagian ini akan dilakukan perhitungan manual untuk dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan ETAP. Berikut tabel 4.9 yang menunjukkan data hasil pengukuran beban trafo yang mengalami overload.

Tabel 4.9 Pengukuran Beban Trafo

NO	KODE GARDU			DAYA KVA	ALAMAT	BEBAN TOTAL				BEBAN JURUSAN 1				BEBAN JURUSAN 2			
						R	S	T	N	R1	S1	T1	N1	R2	S2	T2	N2
12	MJW	11	100	JL	HANDIL 8	109	137	147	55	109	137	147	55				
23	MJW	22	100	JL	JL. M HATTA HANDIL 5	275	254	237	67					0	50	16	40
28	MJW	27	160	JL	JL. M HATTA HDL 3	260	254	277	100	102	76	137	48	158	178	140	52
33	MJW	32	100	JL	JL. IR SOEKARNO	223	151	173	89	86	55	60	57	137	96	113	32
65	SBJ	148	100	JL	SEGAGU DEPAN TOTAL	122	132	139	46	122	132	139	46				
74	SBJ	157	50	JL	SENIPAH SETELAH PERCABANGAN SARIWANGI	59	67	62	31	53	62	55	25	6	5	7	6
76	SBJ	159	50	JL	SENIPAH SETELAH PERCABANGAN KAMPUNG KAMAL	71	103	89	52	59	76	80	44	12	27	9	12
83	SBJ	166	50	JL	HANDIL BARU MUARA	101	60	76	35	12	12	21	8	89	48	55	27
94	SBJ	177	100	JL	HANDIL BARU	135	93	168	59	4	0	19	17	76	36	79	27
97	SBJ	180	50	JL	SUNGAI PADEN	72	81	78	49	72	79	43	43	0	1	34	32

4.3.1 Perhitungan Persentase Susut Daya Pada Saluran

Diketahui GI Senipah memiliki kapasitas 30 MVA. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan hasil susut daya 719,8 kW dan 485,7 kVAR. Setelah optimasi didapatkan nilai susut daya sebesar 439,9 kW dan 246,9 kVAR. Dengan hasil tersebut maka nilai persentase susut dayanya adalah sebagai berikut.

- Perhitungan Kapasitas GI Senipah

$$MW = 30 \text{ MVA} \times 0,85$$

$$MW = 25,5$$

- Perhitungan Persentase Susut Daya Sebelum Optimasi

$$\% \text{ Losses} = \frac{\text{Susut daya}}{\text{Kapasitas}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{719,8 \text{ kw}}{30.000 \text{ kw}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 2,8\%$$

- Perhitungan Persentase Susut Daya Sesudah Optimasi

$$\% \text{ Losses} = \frac{\text{Susut daya}}{\text{Kapasitas}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{439,9 \text{ kw}}{30.000 \text{ kw}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 1,72\%$$

4.3.2 Perhitungan Susut Daya Pada Setiap Gardu yang mengalami *Overload*

Perhitungan akan dilakukan pada seluruh Gardu yang mengalami *Overload* berikut adalah perhitungan pada GI MJW011.

Diketahui :

$$R \text{ (Resistansi)} = 0,272 \text{ ohm/km}$$

$$L \text{ (Panjang Saluran)} = 0,8 \text{ km untuk SBJ dan 1km untuk MJW}$$

$$\text{Losses} = i^2 \times R \times L$$

$$\text{Losses Fasa R MJW011} = 109^2 \times 0,272 \times 1$$

$$\text{Losses Fasa R MJW011} = 3231,632 \text{ w}$$

Tabel 4.10 menunjukkan perhitunhan losses pada setiap gardu yang mengalami overload.

Tabel 4.10 Tabel *Losses* Pada Setiap Saluran Gardu *Overload*

Nama GI	Kode GI	R	S	T	Jarak Saluran	Resistansi	Losses R	Losses S	Losses T
MJW	11	109	137	147	1	0,272	3,23	5,10	5,87
MJW	22	275	254	237	1	0,272	20,57	17,5	15,27
MJW	26	75	62	57	1	0,272	1,53	1,04	0,88
MJW	27	260	254	277	1	0,272	18,38	17,54	20,87
MJW	31	37	23	13	1	0,272	0,37	0,14	0,04
SBJ	148	122	132	139	0,8	0,272	3,23	3,79	4,20
SBJ	157	59	67	62	0,8	0,272	0,75	0,97	0,83
SBJ	159	71	103	89	0,8	0,272	1,09	2,30	1,72
SBJ	166	101	60	76	0,8	0,272	2,21	0,78	1,25
SBJ	177	136	93	168	0,8	0,272	4,02	1,88	6,14
SBJ	180	72	81	78	0,8	0,272	1,12	1,42	1,32
TOTAL							56,55	52,56	58,44

4.3.3 Perhitungan Keseimbangan Beban Trafo

- Perhitungan daya yang sedang ditanggung oleh MJW011.

$$S_{\text{Beban}}(\text{KVA}) = \text{Total Fasa} \times 0,22 \text{ KV}$$

$$S_{\text{Beban MJW011}} = (109+137+147) \times 0,22 \text{ KV}$$

$$S_{\text{Beban MJW011}} = 86 \text{ KV}$$

- Persentase pembebanan pada MJW011.

$$\% \text{Beban} = \frac{S_{\text{Beban}}}{S_{\text{Trafo}}}$$

$$\% \text{Beban} = \frac{86}{100} \times 100\%$$

$$\% \text{Beban} = 86$$

Hasil perhitungan pembebanan gardu dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut ini

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pembebanan

Nama GI	Kode GI	KVA	R	S	T	KV	S Beban	% Beban
MJW	11	100	109	137	147	0,22	86,46	86,46%
MJW	22	100	275	254	237	0,22	168,52	168,52%
MJW	26	50	75	62	57	0,22	42,68	85,36%
MJW	27	160	260	254	277	0,22	174,02	108,76%
MJW	31	25	37	23	13	0,22	16,06	64,24%
SBJ	148	100	122	132	139	0,22	86,46	86,46%
SBJ	157	50	59	67	62	0,22	41,36	82,72%
SBJ	159	50	71	103	89	0,22	57,86	115,72%
SBJ	166	50	101	60	76	0,22	52,14	104,28%
SBJ	177	100	136	93	168	0,22	87,34	87,34%
SBJ	180	50	72	81	78	0,22	50,82	101,64%

4.3.4 Perhitungan Selisih Susut Daya

- Selisih susut daya pada saluran

$$\text{Selisih Susut} = \text{Losses sebelum optimasi} - \text{Losses setelah optimasi}$$

$$\text{Selisih Susut} = 719,8 - 439,9$$

$$\text{Selisih Susut} = 279,9$$

- Selisih susut daya pada GI *Overload*

$$\text{Selisih susut} = \text{Total Losses sebelum optimasi} - \text{Losses setelah optimasi}$$

$$\text{Selisih susut MJW011} = 14,21334 - 1,17$$

Selisih susut MJW011= 13,04445

Hasil perhitungan selisih losses pada setiap Gardu dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini:

Tabel 4.12 Selisih *Losses* Pada Gardu *Overload*

Nama GI	Kode GI	<i>Losses</i> R	<i>Losses</i> S	<i>Losses</i> T	Total	<i>Losses</i> Setelah Optimasi	Selisih <i>Losses</i>
MJW	11	3,231632	5,105168	5,877648	14,21445	1,17	13,04445
MJW	22	20,57	17,54835	15,27797	53,39632	1,13	52,26632
MJW	26	1,53	1,045568	0,883728	3,459296	0,563	2,896296
MJW	27	18,3872	17,54835	20,87029	56,80584	0,258	56,54784
MJW	31	0,372368	0,143888	0,045968	0,562224	1,16	-0,59778
SBJ	148	3,238758	3,791462	4,20425	11,23447	1,9	9,33447
SBJ	157	0,757466	0,976806	0,836454	2,570726	0,534	1,460726
SBJ	159	1,096922	2,308518	1,72361	5,12905	0,556	3,94905
SBJ	166	2,219738	0,78336	1,256858	4,259955	1,11	3,149955
SBJ	177	4,02473	1,882022	6,141542	12,04829	1,18	10,86829
SBJ	180	1,128038	1,427674	1,323878	3,87959	0,554	3,32559
TOTAL							156,2452

- Perhitungan *Saving* kW

Saving kW = *Selisih losses saluran* + *Selisih losses GI Overload*

Saving kW = 279,9 + 156,2452

Saving kW = 436,1452

4.3.5 Perhitungan Selisih Persentase *Drop voltage*

- Perhitungan *Saving* Persentase *Drop voltage*

%Drop = %*Drop voltage* Sebelum – %*Drop voltage* Sesudah

%Drop MJW011= %*Drop voltage* Sebelum – %*Drop voltage* Sesudah

%Drop MJW011= 3,376794 – 2,09

%Drop MJW011= 1,29

Berikut adalah hasil perhitungan selisih persentase *drop voltage* dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini:

Tabel 4.13 Hasil Selisih %*Drop voltage*

Nam a GI	Kode GI	% <i>Drop Voltage</i> Sebelum Optimasi	% <i>Drop Voltage</i> Setelah Optimasi	Selisih % <i>Drop</i> <i>Voltage</i>
MJW	11	3,376794	2,09	1,29
MJW	22	3,735059	1,84	1,90
MJW	26	3,318672	2,05	1,27
MJW	27	3,744653	1,85	1,89
MJW	31	2,491007	2,49	0,001007
SBJ	148	3,368576	2,09	1,28
SBJ	157	3,624055	1,79	1,83
SBJ	159	3,698907	1,83	1,87
SBJ	166	3,691431	1,82	1,87
SBJ	177	3,39719	2,1	1,30
SBJ	180	3,691674	1,82	1,87

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa *Losses* yang terjadi adalah 719,8 kW atau sekitar 2,8%. Hasil ini masih berada pada batas aman menurut standar operasional PLN dan acuan Permen ESDM No. 27 Tahun 2017, batas maksimum susut daya yang diperbolehkan untuk jaringan distribusi adalah sekitar **6% hingga 8%**. Pada analisis loadflow terdapat beberapa Gardu yang mengalami *Overload*. Diantaranya adalah MJW011, MJW022, MJW026, MJW027, MJW031, SBJ148, SBJ157, SBJ159, SBJ166, SBJ177, dan SBJ180. Hal ini ditunjukkan dengan nilai arus atau daya nyata (kW) yang melebihi kapasitas nominal peralatan tersebut. Salah satu indikator utama yang ditampilkan ETAP adalah nilai % Loading, di mana nilai lebih dari 100% menandakan adanya kelebihan beban.

Beberapa hal yang dapat menyebabkan hal ini adalah seperti penambahan beban yang tidak terkendali, ketidakseimbangan beban antar fasa, pemakaian trafo di luar spesifikasi, faktor daya yang buruk, dan lain sebagainya. Sedangkan pada hasil perhitungan manual yang telah dilakukan menggunakan data yang telah didapatkan sebelumnya, persentase pembebanan sebelum optimasi sekitar 80-170% yang dimana nilai ini masih jauh dari nilai batas maksimal. Faktor pembebanan berlebih seperti ini dapat menyebabkan susut daya bagi saluran. Selain itu,

panas yang dihasilkan akibat adanya pembebanan berlebih juga dapat menyebabkan efisiensi trafo menjadi berkurang.

Optimasi dilakukan dengan menambahkan kapasitas trafo pada trafo yang mengalami *Overload*. Penambahan kapasitas ini bertujuan untuk menurunkan rasio beban terhadap kapasitas trafo agar tetap berada dalam batas aman, hal ini juga dapat mengurangi panas berlebih, sehingga menjaga suhu operasi trafo di bawah ambang batas termal serta meningkatkan keandalan suplai listrik, terutama saat beban meningkat karena pertumbuhan konsumsi listrik di area layanan.

Pada hasil perhitungan didapatkan hasil *losses* pada saluran yang mengalami *overload* sebesar 56.55, 52.56, dan 58.44 untuk saluran R, S, dan T. Nilai-nilai ini menunjukkan adanya perbedaan susut daya antar fasa. Dengan fasa T mengalami rugi daya tertinggi diikuti oleh fasa R, dan fasa S yang memiliki rugi daya paling rendah. Ketidakseimbangan ini mengindikasikan potensi ketidakseimbangan beban dalam sistem, yang jika tidak dikendalikan dapat berdampak pada efisiensi distribusi serta keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Ketidakseimbangan menyebabkan arus netral mengalir di kabel netral (jika ada), yang seharusnya nol dalam kondisi seimbang. Hal ini dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada konduktor netral serta memicu pelepasan proteksi atau gangguan peralatan kontrol.

Nilai persentase *drop voltage* pada Gardu yang mengalami *overload* menunjukan nilai sebesar 38,138018%. Untuk mengurangi *losses* kW dan persentase *drop voltage* pada Gardu dan saluran, dilakukan penambahan konduktor *per phase*. **Susut daya dari kabel penghantar** adalah kehilangan energi listrik yang terjadi saat arus listrik mengalir melalui kabel, disebabkan oleh hambatan listrik dalam kabel tersebut. Susut daya ini biasanya berubah menjadi panas. Sehingga hal ini akan berguna untuk mengurangi arus per konduktor, dan selanjutnya susut daya total akan berkurang secara eksponensial.

Penambahan ini juga dapat menurunkan suhu penghantar, yang juga meningkatkan umur dan keamanan jaringan serta dapat meningkatkan kapasitas hantar arus tanpa harus mengganti seluruh konduktor dengan ukuran yang lebih besar. Sehingga penambahan konduktor ini dapat memungkinkan distribusi daya lebih jauh dengan rugi-rugi lebih kecil.

Setelah dilakukan optimasi dengan melakukan optimasi dengan mengubah kapasitas trafo yang mengalami *Overload*, semua kapasitas trafo sudah memenuhi dengan beban yang ditanggung. Selain itu, setelah optimasi dilakukan, didapatkan nilai *Losses* sebesar 439,9 kW atau sekitar 1,72%. Sedangkan pada Gardu yang mengalami *overload*, didapatkan *selisih losses*

sebesar 12,31445 kW dan selisih *drop voltage* sebesar 16,368018%. Sehingga didapatkan hasil saving kW dan kondisi persentase *drop voltage* setelah optimasi sebesar 436,1452 kW dan 9,97%. Hasil optimasi tersebut menunjukkan hasil yang lebih baik dari hasil sebelumnya.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti dapat menyampaikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi susut daya sebesar 719,8 kW dan 485,7 kVAR atau sekitar 2,8%. Setelah optimasi yang dilakukan pada gardu yang mengalami overload didapatkan nilai susut daya sebesar 439,9 kW dan 246,9 kVAR 1,72%. Hasil ini masih berada pada batas aman menurut standar operasional PLN dan acuan Permen ESDM No. 27 Tahun 2017, batas maksimum susut daya yang diperbolehkan untuk jaringan distribusi adalah sekitar 6% hingga 8%.
2. Nilai *losses* dengan simulasi ETAP ditemukan beberapa Gardu yang mengalami *overload*, anantara lain MJW011, MJW022, MJW026, MJW027, MJW031, SBJ148, SBJ157, SBJ159, SBJ166, SBJ177, dan SBJ180. Sedangkan *losses* dengan perhitungan manual dapat diketahui dengan rumus *losses* tiap fasa pada GI dan didapatkan *losses* yang terjadi fasa R 56,55, fasa S 52,56, dan fasa T 58,44.
3. Nilai *losses* dapat dikendalikan dengan melakukan peningkatan kapasitas trafo agar tidak terjadi *overload*, serta penyesuaian kawat penghantar sesuai dengan kebutuhan saluran. Dengan upaya tersebut, didapatkan hasil *saving* kW dan kondisi persentase *drop voltage* setelah optimasi sebesar 436,1452 kW dan 9,97%. Hasil optimasi tersebut menunjukkan hasil yang lebih baik dari hasil sebelumnya.
4. Pembebanan dan kawat konduktor terbukti mempengaruhi *losses* yang terjadi pada saluran. *Losses* yang terjadi sebelum optimasi adalah 719,8 kW pada saluran dan 167,56021 kW pada Gardu yang mengalami *overload*. Setelah optimasi didapatkan *losses* sebesar 439,9 kW pada saluran dan 10,115 kW pada Gardu overload sehingga didapat *saving* kW sebesar 436,1452 kW.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan dalam penelitian ini adalah

1. Perlu untuk dilakukan optimasi pada GI Distribusi ULP Samboja dengan

penambahan kapasitas trafo di gardu sebesar 160 kVA sesuai dengan beban yang ditanggungnya.

2. Perlu dilakukan penambahan jumlah konduktor atau penambahan luas penampang saluran udara tegangan menengah 20 kV.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu memperhitungkan faktor lain untuk memaksimalkan optimasi bagi GI Distribusi ULP Samboja.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Martunis, Muliadi, Fadli e A. Vhandra, Studi Aliran Daya Pada Penyulang GH-06 PT. PLN (Persero) Rayon Lancang Garam Lhokseumawe, Lhokseumawe, 2003.
- [2] Y. Marniati e Q. A. Hanifatullah, 2018. Evaluasi Susut Daya Penyulang Cendana 20 kV pada Gardu Induk Bungaran dengan ETAP 12.6. Jurnal Teknik Elektro ITP, Vol. 7, No. 1, 2018.
- [3] . A. Siregar, B. H. Yusdartono e A. Hasibuan, Perbaikan Nilai Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah Pada Feeder K.H. 05 (Case Study PLN ULP Kruenggukuh), Jurnal Energi Elektrik, 12(1), hlm. 24-30, 2023.
- [4] H. Kurniawan e . D. Rahmawati, 2021. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi unntuk Mendukung Perbaikan Susut Teknik Di ULP Bangko. JTERAF (Jurnal Teknik Elektro Raflesia) Vol I, No 1, 2021, Politeknik Raflesia, Politeknik Raflesia, 2021.
- [5] P. P. (. U. Balikpapan, Laporan Neraca Produksi dan Penjualan, Balikpapan, 2024.
- [6] S. R. Pitoy, nalisis Rugi – Rugi Energi Listrik Pada Jaringan Distribusi, Manado: Politeknik Negeri Manado, 2016.
- [7] M. Irsyam, M. Algusri e L. Marpaung, 2023. Analisa Rugi-Rugi Daya (Losses Power) Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. Musimmas Batam. Sigma Teknika, Vol. 6, No.1 : 109-119 Juni 2023, 2023.
- [8] R. Kandeccing, et al. 2024. Analisis Susut Daya Dan Energi Pada Jaringan Distribusi Di Gardu Induk Kendari New Penyulang Brimob Menggunakan Software ETAP 19.0.1. Pada Waktu Beban Puncak. urnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan K, 2024.
- [9] J. Harun e M. Adam, Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung Lemito Melalui Studi Aliran Daya. Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2(2), hlm. 121–131, 2022.
- [10] N. Soedjarwanto, K. E. Kines e S. A. Aulia, Analisis Susut Daya (Losses) Pada Penyulang Rayap PT. PLN (Persero) UID Lampung Berbasis Aplikasi ETAP 19.0.1. JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan) Vol. 12 No. 2, pISSN: 2303-0577 eISSN: 2830-7062, Lampung: PT. PLN (Persero) UID Lampung, 2024.
- [11] A. A. A. Mappabeta, «Analisis Losses Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN ULP PANAKKUKANG Penyulang Atang Menggunakan ETAP 16.0,» pp. 6-45, 2021.
- [12] Sugianto, A. Jaya e B. Ashad, 2020. Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara dengan Menggunakan ETAP 12.6. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Volume 7. No 1, Mei 2020, Makassar, 2020.
- [13] Rochmad, Aplikasi Metode Newton-Raphson Untuk Menghampiri Solusi, *Jurnal MIPA*, vol. 36, n. 2, pp. 193-200, 2013.
- [14] M. A. S. Kirana, «Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson,» UMSU, Medan, 2023.

- [15] A. W. A. SAPUTRO, «Analisa Aliran Daya Pada Rubber Tyred Gantry Crane Di Terminal Peti Kemas Semarang Menggunakan Metode Newton – Raphson,» Universitas Semarang, Semarang, 2023.

