

**ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI
20 KV MENGGUNAKAN ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO)
ULP KOTANOPAN**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta*

Oleh :

MUHAMMAD IMAM LUBIS

NPM : 2410017111082



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA
PADANG**

2026

LEMBARAN PENGESAHAN
ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV
MENGUNAKAN ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO)
ULP KOTANOPAN

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Program Strata Satu (S-1) Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta*

Oleh

MUHAMMAD IMAM LUBIS
NPM : 2410017111082

Disetujui Oleh:

Pembimbing



Ir. Cahayahati, MT
NIK: 930 500 331

Diketahui Oleh:

Fakultas Teknologi Industri
Dekan,



Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, ST.MT
NIDN: 1012097403

Jurusan Teknik Elektro
Ketua,



Dr. Ir. Indra Nisja, M.Sc
NIDN: 201810683

LEMBAR PENGUJI
ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV
MENGUNAKAN ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO)
ULP KOTANOPAN

SKRIPSI

MUHAMMAD IMAM LUBIS
NPM : 2410017111082

*Dipertahankan Di Depan Penguji Skripsi
Program Strata Satu (S-1) Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta
Hari : Jumat, 6 Maret 2026*

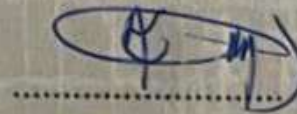
No. Nama

Tanda Tangan

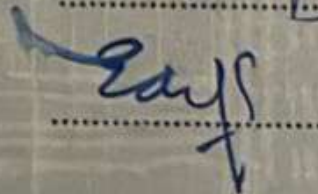
1. Ir. Cahavahati, MT
(Ketua dan Penguji)



2. Ir. Arnita, MT
(Penguji)



3. Ir. Eddy Soesilo, M.Eng
(Penguji)



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa ini sebagian maupun keseluruhan Skripsi saya dengan judul "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN ETAP 19.01 DI PT PLN (PERSERO) ULP KOTANOPAN" adalah benar- benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan- bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Kotanopan, 06 Maret 2026



MUHAMMAD IMAM LUBIS

NPM : 2410017111082



KATA PENGANTAR

Assalamu `alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang maha Esa, karena kasih dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan program Strata-1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri di Universitas Bung Hatta. Adapun skripsi ini berjudul: **“ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN ETAP 19.0.1 DI PT PLN (PERSERO) ULP KOTANOPAN”**.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat saran, dorongan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan kerja praktik ini dalam keadaan yang sehat dan tanpa kekurangan apapun.
2. Keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan sepenuhnya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Reni Desmiarti, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta.
4. Bapak Dr. Ir. Indra Nisja, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta.
5. Bapak Dr. Ir. Ija Darmana, M.T., IPM selaku Penasehat Akademis.
6. Bapak Ir. Cahayati, MT selaku Pembimbing yang telah memberikan arahan dan pengetahuan selama penyusunan skripsi ini.
7. Bapak/ Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta yang telah

memberikan ilmu dan materi di dalam perkuliahan maupun di luar perkuliahan.

8. Bapak Rahmat Akbar Siregar selaku Manager PT.PLN (Persero) ULP Kotanopan.
9. Bapak Najamuddin Lubis yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh Bapak-Bapak Pelayanan Teknik PT.PLN (Persero) ULP Kotanopan.
11. Seluruh Pegawai dan Staff PT.PLN (Persero) ULP Kotanopan.
12. Rekan dan teman seperjuangan dalam menyelesaikan Proposal Skripsi, Teknik Elektro Kelas Mandiri angkatan 2024. Terimakasih atas dukungan dan terus memberikan semangat serta masukan kepada penulis.
13. Serta semua pihak lain yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari akan kekurangan dari laporan dan proyek Tugas Akhir yang telah dibuat belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Medan , 06 Maret 2026

Muhammad Imam Lubis
2410017111081

INTISARI

Penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju konsumen akhir melalui jaringan distribusi sering kali mengalami rugi-rugi daya yang berdampak pada efisiensi sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besar rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Kotanopan serta mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhinya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan rugi-rugi daya aktif (P) dan reaktif (Q) pada jaringan distribusi tegangan menengah menggunakan data primer dari pengukuran lapangan dan data sekunder dari pihak PLN. Analisis dilakukan terhadap beberapa penyulang (*feeder*) utama untuk mengetahui lokasi dan besaran rugi-rugi daya secara lebih spesifik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat rugi-rugi daya pada beberapa penyulang melebihi batas toleransi yang ditetapkan oleh PLN, disebabkan oleh panjang jaringan, ketidakseimbangan beban, serta kondisi konduktor dan sambungan yang kurang optimal. Rekomendasi perbaikan mencakup penataan ulang beban, penggantian konduktor dengan ukuran lebih besar, dan pemasangan kapasitor bank pada titik-titik tertentu. Dengan optimalisasi ini, diharapkan efisiensi sistem distribusi dapat ditingkatkan dan rugi-rugi daya dapat ditekan secara signifikan.

Kata Kunci: Studi Aliran Daya, Jaringan Distribusi 20 kV, ETAP.

ABSTRACT

The distribution of electrical energy from generating plants to end consumers through the distribution network often results in power losses that impact system efficiency. This study aims to analyze the significant power losses occurring in the distribution network within the working area of PT PLN (Persero) ULP Kotanopan and identify the factors influencing them. The method used in this study is the calculation of active (P) and reactive (Q) power losses in the medium-voltage distribution network using primary data from field measurements and secondary data from PLN. Analysis was conducted on several main feeders to determine the specific location and magnitude of power losses. The results indicate that power losses in several feeders exceed the tolerance limits set by PLN, due to network length, load flexibility, and suboptimal conductor and connection conditions. Recommendations for improvement include load reconfiguration, replacement of conductors with larger sizes, and installation of capacitor banks at specific points. With this optimization, distribution system efficiency is expected to be increased and power losses can be significantly reduced.

Keywords: Power Flow Study, 20 kV Distribution Network, ETAP.

DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBARAN PENGUJI	Error! Bookmark not defined.
PERYANTAAAN KEASLIAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	i
INTISARI	i
ABSTRACT	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Penelitian.....	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	8
2.2.2 Studi Aliran Daya.....	20
2.2.3 Hipotesis.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	37
3.1.1 Alat Penelitian.....	37
3.1.2 Bahan Penelitian.....	37
3.2 Alur Penelitian	39
3.3 Deskripsi Sistem dan Analisis.....	41
3.3.1 Deskripsi Sistem.....	41
3.3.2 Analisis.....	41
3.4 Data Penyulang YB3.....	42
3.4.1 Single line diagram penyulang YB3	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	65
4.1 Data Sistem.....	65
4.2 Gambar Sistem Tenaga.....	69
4.3 Simulasi dan Perhitungan Aliran Daya	70
4.3.1 Hasil Losses Menggunakan ETAP 19.01.....	71
4.3.2 Perhitungan Losses pada saluran di Penyulang YB 3.....	74
4.4 Analisa Aliran Daya	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	1
LAMPIRAN.....	3

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian Jaringan Distribusi	11
Gambar 2. 2 Jaringan Distribusi Pola Radial	13
Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Pola Loop	13
Gambar 2. 4 Jaringan Distribusi Pola Grid	14
Gambar 2. 5 Jaringan Distribusi Pola Spindel	15
Gambar 2. 6 Arus dan Tegangan pada Beban Resistif.....	18
Gambar 2. 7 Arus dan Tegangan pada Beban Induktif.....	19
Gambar 2. 8 Arus dan Tegangan pada Beban Kapasitif	19
Gambar 2. 9 Segitiga Daya	22
Gambar 2. 10 Elemen standar ANSI dan IEC.....	31
Gambar 2. 12 Simbol Generator di ETAP	31
Gambar 2. 13 Simbol Transformator standar ANSI dan IEC	32
Gambar 2. 14 Simbol pemutus rangkaian di ETAP	32
Gambar 2. 15 Simbol beban statis di ETAP	32
Gambar 2. 16 Toolbar ANSI Standar.....	32
Gambar 2. 17 Toolbar IEC Standar.....	32
Gambar 2. 18 Lembar Kerja.....	33
Gambar 2. 19 Single Line Diagram	34
Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian.....	41
Gambar 3. 2 Single Line Diagram	43
Gambar 3. 3 Kotak Dialog Pertama	61
Gambar 3. 4 New Project	61
Gambar 3. 5 Tampilan user information ETAP 19.01	62
Gambar 3. 6 Tampilan utama ETAP 19.01	62
Gambar 3. 7 Diagram satu garis penyulang YB3	63
Gambar 4. 1 Single Line Diagram YB 3.....	69
Gambar 4. 2 Simulasi Unbalance Load Flow	70
Gambar 4. 3 Hasil Simulasi Losses pada ETAP	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Resistansi dan Reaktansi pada penghantar.....	24
Tabel 3. 1 Data Trafo dan Beban per Gardu	43
Tabel 3. 2 Data Beban per gardu LWBP dan WBP	48
Tabel 3. 3 Data Jarak Antar Gardu.....	52
Tabel 3. 4 Data Arus Rata-rata LWBP.....	55
Tabel 3. 5 Data Arus Rata-rata WBP.....	57
Tabel 4. 1 Data Sistem	66
Tabel 4. 2 Hasil simulasi gardu pada penyulang YB3	71

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan vital dalam kehidupan masyarakat modern. Hampir seluruh sektor kehidupan, baik industri, pemerintahan, maupun rumah tangga sangat bergantung pada ketersediaan energi listrik yang andal dan berkualitas. PT PLN (Persero) sebagai satu-satunya penyedia listrik di Indonesia memiliki tanggung jawab besar untuk menyediakan energi listrik secara terus-menerus, aman, dan efisien hingga ke konsumen.

Dalam proses penyaluran listrik dari pembangkit ke konsumen, terdapat tahapan transmisi dan distribusi. Sistem distribusi merupakan tahap akhir dalam penyaluran energi listrik sebelum mencapai pelanggan. Namun, dalam proses ini sering terjadi *losses* atau rugi-rugi daya listrik, baik berupa rugi-rugi daya aktif (kW) maupun daya reaktif (kVAR), yang umumnya disebabkan oleh konduktor penghantar, transformator, serta ketidakseimbangan beban.

Sistem distribusi merupakan suatu bagian utama dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Bagian ini berfungsi untuk mendistribusikan daya listrik dari sisi pembangkit sebagai pengirim ke sisi beban (konsumen) sebagai penerima. Daya listrik tersebut disalurkan melalui peralatan sistem tenaga listrik dengan kapasitas tertentu. Jumlah energi listrik yang sampai ke beban tidak sama dengan jumlah energi listrik yang dibangkitkan karena terjadi susut atau rugi-rugi (*losses*) energi (Mansur, 2005).

Distribusi energi listrik yang berawal dari pembangkit dan diakhiri dengan penggunaan oleh konsumen haruslah bersifat efektif, efisien dan dapat diandalkan. Melihat dari kriteria tersebut maka dalam pembangkitan energi listrik serta distribusi energi listrik haruslah dilakukan secara rasional dan ekonomis. Pada jaringan distribusi jumlah energi listrik yang sampai ke beban tidak sama dengan jumlah energi listrik yang dibangkitkan karena terjadi susut atau rugi-rugi (*losses*) energi. Rugi rugi pada jaringan sistem

tenaga listrik juga disebabkan oleh pembebanan yang tidak seimbang antara ketiga sistem fasa, panas yang timbul pada konduktor saluran maupun transformator, serta panas yang timbul pada sambungan konduktor yang buruk (losscontact) (Josafat Mangundap, Sartje Silimang, Hans Tumaliang, 2017)

Penentuan jumlah rugi-rugi energi yang tepat setiap bulan merupakan kebutuhan pengoperasian sistem tenaga listrik yang paling mendesak. Perhitungannya sangat sukar karena kondisi pembebanan sistem yang berbeda setiap saat sesuai dengan kebutuhan konsumen sistem tenaga listrik. Dengan demikian besar rugi ruginya berbeda dari waktu ke waktu sehingga total rugi daya listrik setiap bulan berbeda-beda, karena itu dibutuhkan suatu metode perhitungan yang akurat dan membuat kurva beban berdasarkan kelompok beban pelanggan (Salama M., 2007).

Sistem distribusi tenaga listrik pada PT.PLN (Persero) Wilayah Kotanopan merupakan contoh kasus sistem distribusi yang selalu mengalami rugi-rugi daya listrik. Rugi-rugi daya tersebut tidak dapat dihindari, sementara besar rugi-rugi tersebut belum diketahui, apakah masih dalam batas-batas yang diizinkan atau melampaui batas standar yang telah ditentukan. Selain itu, level tegangan yang dibangkitkan umumnya tidak sama dengan level tegangan di pelanggan. Pada titik tertentu tidak tertutup kemungkinan terjadi rugi-rugi (losses) daya dan jatuh tegangan yang melampaui batas-batas teknis yang dipersyaratkan berdasarkan SPLN 1978 yaitu sekitar 5 %.

Untuk menghitung rugi-rugi saluran pada suatu sistem distribusi, maka terlebih dahulu harus dilakukan studi aliran daya. Dalam hal ini analisis atau perhitungan dilakukan terhadap tegangan, arus, daya dan rugi-rugi daya dalam suatu jaringan listrik pada berbagai titik dengan kondisi operasi normal. Beberapa metode penyelesaian studi aliran daya telah digunakan untuk menghitung rugi-rugi saluran, diantaranya Damasar, I. (2005) telah menggunakan metode Gauss-Seidel Y Bus untuk menganalisis

penanggulangan rugi-rugi daya jaringan distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) Menado.

Namun, menurut Raharjo, A.T. (2007), penggunaan metode Gauss-Seidel Y Bus sering konvergensi tidak tercapai khususnya untuk sistem yang radial atau mendekati radial. Oleh karena itu, beberapa variabel perlu diubah seperti harga awal slack bus, faktor percepatan dan tingkat ketelitian. Metode lain yang sering digunakan dalam studi aliran daya adalah Newton-Raphson. Metode ini memiliki perhitungan yang lebih baik dibanding dengan metode Gauss-Seidel bila untuk sistem tenaga yang lebih besar, karena lebih efisien dan praktis (Cekdim, C. 2005).

Dalam metode ini jumlah literasi yang dibutuhkan untuk memperoleh pemecahan berdasarkan ukuran sistem. Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan mencoba menggunakan studi aliran daya dengan metode Newton-Raphson menggunakan software ETAP 19.0.1 untuk menghitung rugi-rugi daya pada jaringan distribusi ULP Kotanopan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi aliran daya pada jaringan distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Kotanopan?
2. Berapa besar rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi 20 kV tersebut?
3. Bagaimana hasil simulasi aliran daya dan rugi-rugi daya menggunakan perangkat lunak ETAP 19.01?
4. Bagaimana perbandingan antara hasil simulasi dengan data aktual lapangan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada analisis rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) dan tegangan rendah (400/230 V) di wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Kotanopan.
2. Jenis rugi-rugi daya yang dianalisis hanya meliputi rugi-rugi daya teknis (technical losses), tidak termasuk rugi-rugi non-teknis seperti pencurian listrik atau kesalahan pencatatan meter.
3. Jenis rugi-rugi daya yang dianalisis hanya meliputi rugi-rugi daya aktif (kW) tidak membahas rugi-rugi daya reaktif.
4. Data yang digunakan merupakan data primer dan sekunder dari PLN ULP Kotanopan dalam rentang waktu satu tahun terakhir.
5. Perhitungan rugi-rugi daya dilakukan secara manual dan dengan bantuan perangkat lunak pendukung seperti Microsoft Excel atau ETAP (jika tersedia).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kondisi aliran daya pada jaringan distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Kotanopan.
2. Menghitung besarnya rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem distribusi 20 kV.
3. Melakukan simulasi aliran daya dan rugi-rugi daya menggunakan perangkat lunak ETAP 19.01.
4. Membandingkan hasil simulasi dengan data lapangan untuk mengevaluasi keakuratan model jaringan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini:

1. Bagi PLN : memberikan informasi yang berguna bagi pihak PT PLN (Persero) ULP Kotanopan dalam mengevaluasi kinerja jaringan distribusi dan menjadi dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan teknis terkait perbaikan dan efisiensi sistem distribusi.

membantu pihak PT PLN (Persero) ULP Kotanopan dalam mengetahui kondisi aktual jaringan distribusi dan besarnya rugi-rugi daya.

2. Bagi akademisi: menambah wawasan dan literatur mengenai rugi-rugi daya dalam system distribusi Listrik, khususnya di wilayah operasional PLN dan menjadi referensi bagi mahasiswa atau peneliti lain yang tertarik pada bidang system tenaga Listrik dan efisiensi energi, menambah wawasan dalam bidang sistem tenaga listrik, khususnya analisis distribusi 20 kV.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian

Dalam penulisan laporan proposal ini penulis merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya sebagai berikut:

Rani Sabila, dkk, 2024 “*Kajian Beban Harian pada Jaringan Distribusi Penyulang Jelutung*”. [1] Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Batanghari. Penelitian ini menganalisis Beban Harian pada Jaringan Distribusi Penyulang Jelutung. Penelitian ini dilakukan pada Beban harian tertinggi yaitu beban listrik yang terjadi pada saat tertinggi dalam 24 jam. Ini dapat dipengaruhi oleh kegiatan dirumah tangga, industri, perdagangan dan keadaan cuaca. Beban puncak harian terjadi pada waktu-waktu tertentu seperti sore hari. Beban harian terendah biasanya terjadi pada pagi hari sekitar jam 06.00 hingga 07.30. Arus terendah rata-rata (I) = 92,275A dan daya terendah (P) 3,29Mw. Sedangkan arus tertinggi rata-rata 212,7A dan daya tertinggi 7,54Mw. Arus tertinggi dibulan september yaitu pada tanggal 15 dengan daya 8,0 mw di jam 18.30.

Sahrul Husu, dkk, 2019 “*Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) Rayon Raha*”. [2] Seminar Nasional Teknik Elektro Universitas HaluOleo. Penelitian ini menganalisis Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi rayon Raha. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data yang berkaitan dengan penelitian. Setelah data diperoleh kemudian menggambar single line diagram pada aplikasi ETAP dan memasukan data parameter yang tersedia. Dari simulasi sistem kelistrikan raha pada software ETAP didapatkan hasil saat kondisi isolated dan interkoneksi yakni penurunan losses signifikan terjadi pada penyulang lawa yakni 74,3 kVA (0,31%) menjadi 66,87 kVA (0,279 %) dan penyulang lawa mengalami penurunan jatuh tegangan sekitar 0,2 % dengan rata-rata jatuh tegangan dari 1,44 % menjadi 1,36 % dari tegangan nominal 20 kV.

Sedangkan pada penyulang lain seperti kota, tampo dan waara hanya mengalami penurunan sekitar 0,01% dan untuk penyulang konawe sekitar 0,1 %.

Sri Kurniati, dkk, 2016 “*Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV Pada Sistem PLN Kota Kupang*”. [3] Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana. Penelitian ini menganalisis rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV Kota Kupang. Penelitian dimulai dari menganalisis studi aliran daya dilakukan pada 6 penyulang, yakni penyulang tompello, penyulang walikota, penyulang Tingkat I, penyulang Tabulolong, penyulang Penfui, dan penyulang Oebufu pada sistem distribusi kota Kupang dengan menggunakan metode Newton-Raphson. Berdasarkan hasil analisis studi aliran daya ini diperoleh informasi bahwa penyulang Tingkat I mempunyai persentase rugi daya aktif yang paling kecil, yakni 0,189%, sedangkan penyulang Penfui mempunyai persentase rugi daya aktif yang paling besar, yakni 1, 82%. Selanjutnya hasil analisis jatuh tegangan diketahui bahwa penyulang Penfui mempunyai persentase jatuh tegangan yang paling besar yakni 3,205%, sedangkan pada penyulang lainnya masing masing diperoleh, penyulang Tompello = 0,520%, penyulang walikota 1,577%, penyulang tingkat I = 0,520, penyulang Tabulolong = 2,006%, dan penyulang Oebufu = 2, 723%.

Nilhusna, dkk, 2024 “*Analisa Susut Tegangan dan Rugi-Rugi Daya Pada SUTM 20 kV Pada Unit PT. PLN (Persero) ULP Lubuk Sikaping Pasaman Sumatera Barat*”. [4] Penelitian ini menganalisa susut tegangan dan rugi-rugi daya pada SUTM 20 kV pada ULP Lubuk Sikaping. Penelitian dimulai dari Penyaluran energi listrik oleh PT. PLN (Persero) ULP Lubuk Sikaping terdapat 22 feeder yang aktif, diantaranya feeder 1 Kota yang memiliki tegangan kirim yaitu 20,45 kV dengan panjang penyulang 3,376 kms dan terdapat 22 titik trafo dan 6 titik percabangan, menggunakan kawat penghantar AAAC 70 mm² dengan arus beban maksimum 68,19 Ampere. Maka dalam penyaluran energi listrik ke konsumen memiliki beberapa

kerugian. Kerugian tersebut dapat berupa susut tegangan dan rugi-rugi daya. Berdasarkan perhitungan feeder 1 Kota Susut tegangan yang paling besar terdapat pada titik trafo 100 kVA (2) yaitu 0,1 % dan yang terkecil terdapat pada titik trafo 200 kVA (13) yaitu 0,0009 %. Sehingga di dapatkan total rugi-rugi daya pada feeder 1 Kota yaitu 4.897,97 Watt. Dari 6 titik percabangan susut tegangan yang paling besar pada titik trafo 50 kVA (22) yaitu 0,24 % dan yang paling kecil adalah titik percabangan 1 yaitu 0,20%.

Irawati Bursa, dkk, 2021 “Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto”. [5] penelitian ini menganalisa rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban di ULP Watang Sawitto. penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data terkait data pembebanan transformator, data penghantar, dan data tegangan pangkal dan penerima, kemudian data dianalisis sehingga didapatkan perbandingan antara besar rugi-rugi daya dalam keadaan beban tidak seimbang dan keadaan beban seimbang. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang berdasarkan hasil perhitungan adalah 22,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 20,3 % dan rugi-rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 23,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 16,37%. Sedangkan rugi-rugi daya dalam keadaan beban seimbang berdasarkan hasil perhitungan 20,9 kW dan rugi-rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 22,3 kW dengan jatuh tegangan sebesar 13,69%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Andi Abdul A. M (2021), Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar atau Gardu Induk sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 \cdot R$).

Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi menurunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt, selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

2.2.1.1 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Menurut Suhadi (2008), jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Sistem distribusi dapat dikelompokkan ke dalam dua tingkat, yaitu:

1. Sistem jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah (JTM) merupakan jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi dengan tegangan operasi 6 kV, 7 kV, 12 kV, 20 kV dan biasanya menggunakan sistem tiga fasa.
2. Sistem jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah (JTR) merupakan jaringan yang dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pelanggan dengan tegangan operasi 380/220 Volt.

2.2.1.2 Bagian-bagian jaringan distribusi

Untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian yang paling utama, yaitu sebagai berikut:

1. Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer. Biasanya, jaringan ini menggunakan empat jenis jaringan yaitu sistem radial, sistem tertutup atau loop, grid, dan spindle. (Abdul Kadir, 2006).

2. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan ini menggunakan tegangan rendah. jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering disebut jaringan tegangan rendah. (Abdul Kadir, 2006).

Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial yang menggunakan kabel yang berisolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut:

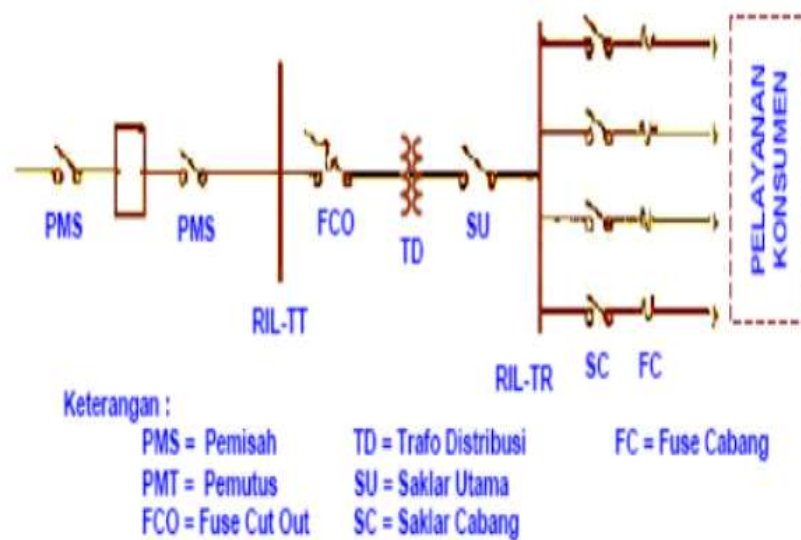
- Panel Hubung Bagi (PHB) pada trafo distribusi,
- Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).

- Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi AC dibedakan atas beberapa macam tipe, dan cara perawatannya bergantung pula pada jumlah fasanya, yaitu:

1. Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
2. Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt
3. Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

Berdasarkan penjelasan diatas, bagian – bagian dari jaringan distribusi dapat dijelaskan secara sistematis pada Gambar 2.2



Gambar 2. 1 Bagian-bagian Jaringan Distribusi
(sumber : Abdul Kadir 2006)

2.2.1.3 Klasifikasi Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah sarana dari sistem distribusi tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik ke konsumen. Dalam menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban atau konsumen, suatu sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, lokasi beban, perkembangan dimasa mendatang, keandalan serta nilai ekonomisnya.

Berdasarkan Tegangan Pengenal Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

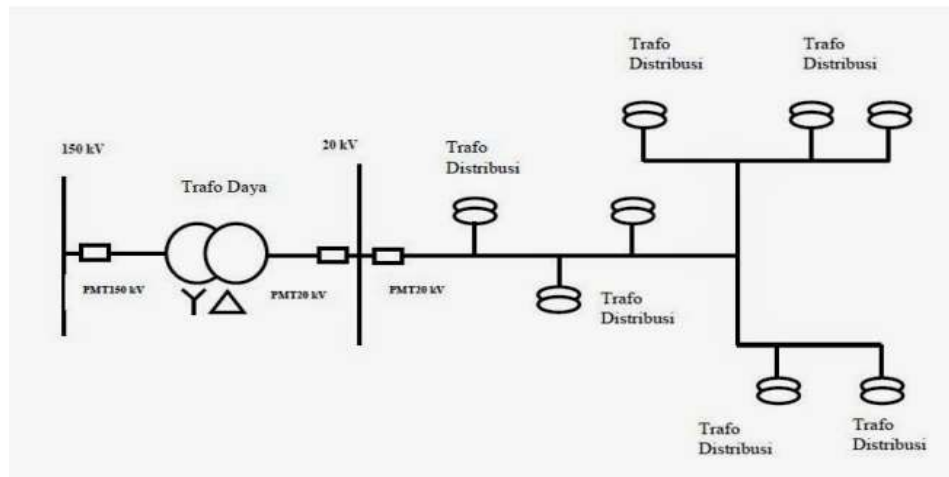
1. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
2. Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen. Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

Berdasarkan Konfigurasi Jaringan Primer

Konfigurasi jaringan distribusi primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

1. Jaringan Distribusi Pola Radial

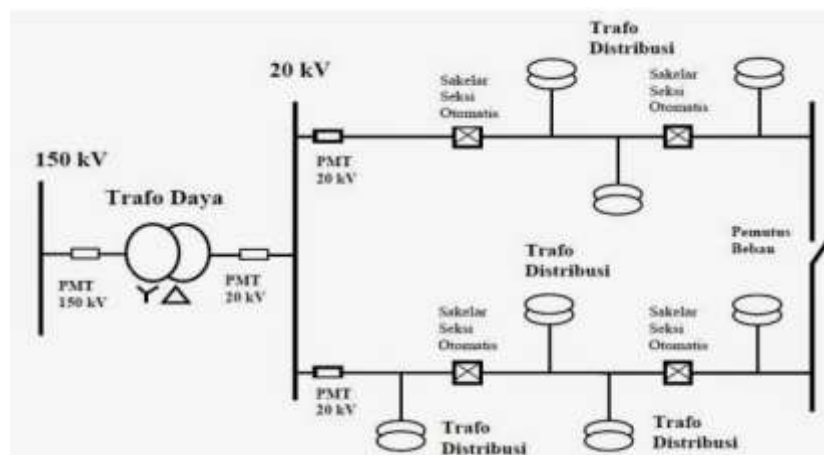
Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi. Jaringan distribusi pola radial bisa dijelaskan lebih detail pada Gambar 2.3



Gambar 2. 2 Jaringan Distribusi Pola Radial

2. Jaringan Distribusi Pola Loop

Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial). Penjelasan jaringan distribusi pola loop bisa dilihat pada Gambar 2.4.



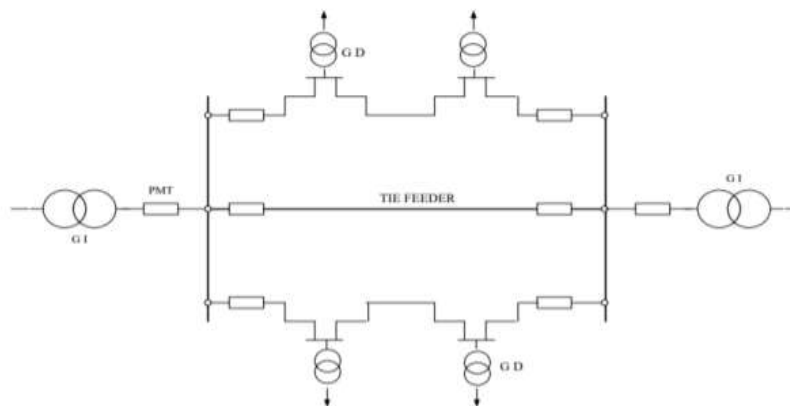
Gambar 2. 3 Jaringan Distribusi Pola Loop

3. Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.5. Keuntungan dari jenis jaringan ini adalah:

- a. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop.
- b. Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban.
- c. Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi.

Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal dan biaya investasi yang juga mahal.



Gambar 2. 4 Jaringan Distribusi Pola Grid

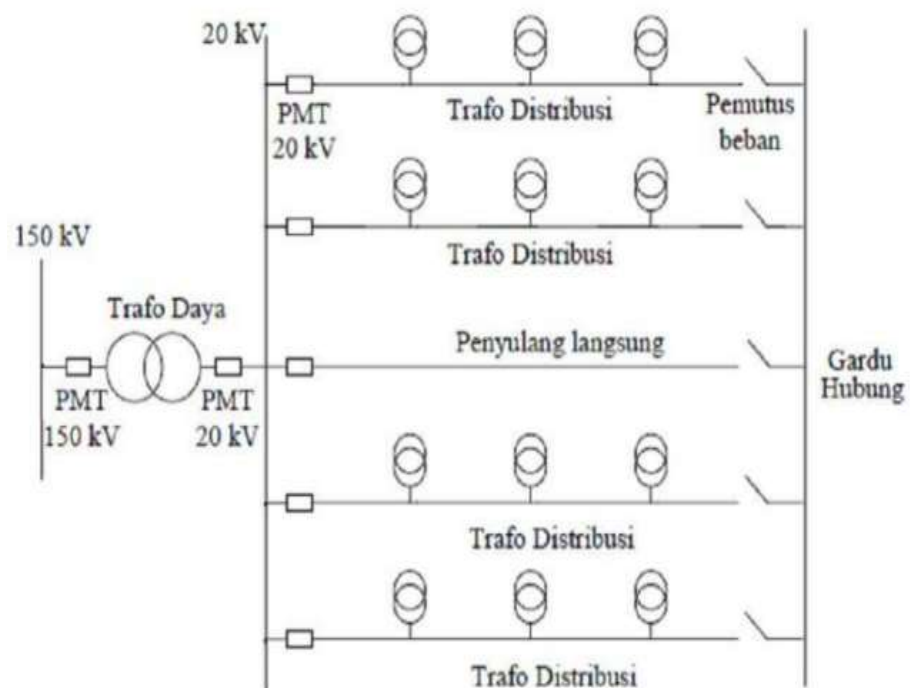
4. Jaringan Distribusi Pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut express feeder. Sistem gardu distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dari gardu dihubungkan oleh sebuah

saklar beban. Jadi sistem ini dalam keadaan normal bekerja secara radial dan dalam keadaan darurat bekerja secara loop melalui saluran cadangan dan GH.

Keuntungan pola jaringan ini adalah: Sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya seperti pola radial. Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pada pola radial maupun loop. Jaringan distribusi pola spindle bisa dilihat pada Gambar 2.6.

- Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola grid.
- Penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah dibandingkan dengan pola grid. Dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.
- Baik untuk dipakai di daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.



Gambar 2. 5 Jaringan Distribusi Pola Spindel

2.2.1.4 Beban Pada Sistem Distribusi

1. Pengertian Beban

Beban adalah seluruh peralatan Listrik yang terhubung ke jaringan distribusi dan mengonsumsi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). beban memengaruhi arus, tegangan, factor daya dan daya reaktif (Q).

2. Klasifikasi Beban

(Mangapul, T. 2015) Secara umum beban yang dilayani oleh sistem distribusi tenaga listrik dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu : sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial dan sektor usaha. Masing-masing sektor beban tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik beban yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Karakteristik beban yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi elektrik yang sangat besar. Hal ini disebabkan konsumsi energi elektrik tersebut lebih dominan di malam hari. Sedangkan pada sektor industri, fluktuasi konsumsi energi sepanjang hari akan hampir sama, sehingga perbandingan beban puncak dengan beban rata-rata hampir mendekati satu. Beban pada sektor komersial dan usaha mempunyai karakteristik yang hampir sama, hanya pada sektor komersial akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada waktu malam hari

Berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar, ragam beban dapat diklasifikasikan ke dalam :

a. Beban rumah tangga

pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu penerangan, alat rumah tangga, seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air,

dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari.

b. Beban komersil

pada umumnya terdiri atas penerangan untuk reklame, kipas angin, penyejuk udara dan alat – alat listrik lainnya yang diperlukan untuk restoran. Beban hotel juga diklasifikasikan sebagai beban komersil (bisnis) begitu juga perkantoran. Beban ini secara dratis naik di siang hari untuk beban perkantoran, dan pertokoan, dan menurun di waktu sore.

c. Beban industri

Beban industry dibedakan dalam skala kecil dan skala besar. Untuk skala kecil banyak beroperasi di siang hari. 28 Untuk Industri skala besar sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam

d. Beban fasilitas umum

pengklasifikasian ini sangat penting, artinya bila kita melakukan karakteristik beban untuk suatu sistem yang sangat besar. Perbedaan yang paling prinsip dari empat jenis beban diatas, selain dari daya yang digunakan dan juga waktu pembebanannya. Pemakaian daya pada beban rumah tangga akan lebih dominan pada pagi dan malam hari. Beban komersil lebih dominan siang hari dan sore hari. Pemakaian daya pada industri akan lebih merata, karena banyak industri yang bekerja siang – malam. Pemakaian daya pada industri akan lebih menguntungkan karena kurva bebannya akan lebih merata. Beban fasilitas umum lebih dominan pada siang dan malam hari.

Beberapa daerah operasi tenaga listrik memberikan ciri tersendiri, misalnya daerah wisata, pelanggan bisnis mempengaruhi penjualan kWh walaupun jumlah pelanggan bisnis jauh lebih kecil dibanding pelanggan rumah tangga.

3. Karakteristik Beban

(Mangapul, T, 2015) Dalam sistem Listrik arus bolak-balik (AC) karakteristik beban Listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu :

a. Beban Resistif (R)

Beban resistif, yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (resistance), seperti elemen pemanas (heating element) dan lampu pijar. Beban jenis ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa. Persamaan daya sebagai berikut :

$$P = V.I \quad (2.1)$$



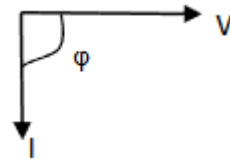
Gambar 2. 6 Arus dan Tegangan pada Beban Resistif

b. Beban Induktif (L)

Beban induktif, yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti : (coil), transformator, dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (phase shift) pada arus sehingga bersifat tertinggal sebesar 90^o terhadap tegangan (lagging). Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I. \cos \varphi \quad (2.2)$$

φ = Sudut antara arus dan tegangan



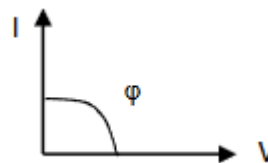
Gambar 2. 7 Arus dan Tegangan pada Beban Induktif

c. Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif, yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (electrical discharge) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus terdahulu terhadap tegangan (leading). Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V.I.\cos \varphi \tag{2.3}$$

φ = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2. 8 Arus dan Tegangan pada Beban Kapasitif

2.2.1.5 Transformator Distribusi

Irawati (2021), Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi berfungsi untuk mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step-down 20 kV/400 V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat di atas 380 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V. Prinsip

kerjanya ialah kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sehingga inti transformator yang terbuat dari ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = Φ).

Fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah dikarenakan arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal, maka fluks yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula. Karena fluks tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat belitan primer dan sekunder, maka pada belitan primer dan sekunder akan timbul gaya gerak listrik induksi, tetapi arah gaya gerak listrik induksi primer berlawanan dengan arah gaya gerak listrik induksi sekunder. Sedangkan frekuensi masing-masing tegangan sama dengan frekuensi sumbernya.

2.2.2 Studi Aliran Daya

2.2.2.1 Studi Aliran Daya

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

perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi (Jusmedy & Fery, 2007).

Menurut (Sulasno, 2009), kegunaan studi analisis aliran daya ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap simpul yang ada.
- b. Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
- c. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.
- d. Pada hubung singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.

Untuk melakukan perhitungan aliran daya, diperlukan data-data untuk menganalisisnya. Referensi data yang diperlukan antara lain :

- a. Data saluran yang diperoleh dari diagram segaris (single line diagram).
- b. Data bus yang diperlukan adalah besaran daya, tegangan, arus, sudut fasa.
- c. Data spesifikasi yang didapat dari rating-rating setiap komponen, type komponen, merk komponen, frekuensi, dan data asli dari setiap komponen.

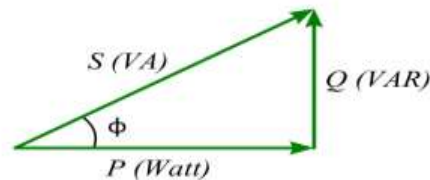
Pada umumnya, perhitungan aliran daya diasumsikan sistem dalam keadaan seimbang. Data dan informasi yang didapatkan berguna dalam merencanakan perluasan sistem tenaga listrik dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem jaringan kelistrikan. Perencanaan sistem aliran daya listrik industri meliputi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

pengontrolan alokasi daya reaktif yang optimal.

Studi aliran daya membutuhkan parameter-parameter dengan besaryangdalam keadaan tetap (stabil). Beban yang berupa mesin-mesin yang tidak berputar, kecil pengaruhnya terhadap arus saluran pada waktu terjadinya gangguan, olehkarena itu biasanya diabaikan. Beban yang berupa motor serempak selaludimasukkan dalam perhitungan aliran daya listrik. Berdasarkan beban yangbekerja dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu; beban statis (static load) dan 9beban campuran antara beban motor dan beban statis (lumped load) (Prabowo, 2007).

Konsep Dasar Aliran Daya

Dalam persamaan maupun perhitungan daya, hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami konsep segitiga daya. Ilustrasi konsep segitiga daya ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 9 Segitiga Daya

- S = Daya semu (VA)
- P = Daya aktif (Watt)
- Q = Daya reaktif (VAR)
- $\text{Cos } \phi$ = Faktor Daya

Dalam sistem tenaga listrik dikenal tiga jenis daya, yaitu daya aktif atau real power (P), daya reaktif atau reactive power (Q), dan daya nyata atau apparent power (S).

1. Daya Aktif (P)

Daya semu untuk sistem fasa tunggal, sirkit dua kawat adalah hasil perkalian sakelar arus efektif dan beda tegangan efektif. Jadi

daya semu S dinyatakan oleh sebagai berikut : (Ir. Hasan Basri; 1997,8).

$$P = \sqrt{3}. V. I. \text{Cos } \varphi \quad (2.4)$$

- P = Daya Aktif (Watt)
- I = Arus (Ampere)
- V = Tegangan (Volt)
- Cos φ = Faktor Daya

2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan daya yang diperlukan oleh rangkaian magnetisasi untuk suatu peralatan listrik, Terdapat pada persamaan sebagai berikut : (Kho Dickson. 2016. “Pengertian Daya Listrik Rumus dan cara Menghitung”. Teknik Elektronika).

$$Q = \sqrt{3}. V. I. \text{Sin } \varphi \quad (2.5)$$

- Q = Daya Reaktif (VAR)
- I = Arus (Ampere)
- V = Tegangan (Volt)
- Sin φ = Faktor Daya

3. Daya Semu (S)

Daya semu untuk sistem fasa tunggal, sirkit dua kawat adalah hasil perkalian sakelar arus efektif dan beda tegangan efektif. Jadi daya semu S dinyatakan oleh sebagai berikut : (Ir. Hasan Basri; 1997,8).

$$S = \sqrt{3}. V. I \quad (2.6)$$

- S = Daya Semu (VA)

- I = Arus (Ampere)
- V = Tegangan (Volt)

2.2.2.2 Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Distribusi

Irine Kartika (2017), Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi disebabkan oleh adanya tahanan dan reaktansi pada penghantar. Daya yang hilang dapat berupa energi panas dan energi magnetisasi yang ditimbulkan pada saluran. Energi panas yang tidak terpakai disebut sebagai rugi-rugi daya aktif dan energi magnetisasi disebut sebagai rugi-rugi daya reaktif.

Sebelum mengidentifikasi rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator perlu diketahui terlebih dahulu nilai resistansi dan reaktansi pada penghantar. Menurut SPLN No. 64 Tahun 1985, nilai resistansi dan reaktansi suatu penghantar dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 2. 1 Nilai Resistansi dan Reaktansi pada penghantar

Penghantar		KHA (A)	Resistansi Penghantar Pada 28°C (Ω/km)		Reaktansi pada 50 Hz (Ω/km)
Jenis	Ukuran		Fasa	Netral	
Twisted Cable	3x35 + 1x50 mm ²	125	0,894	0,559	0,379
	3x50 + 1x50 mm ²	154	0,661	0,559	0,3678
	3x70 + 1x50 mm ²	196	0,457	0,559	0,3572

Rugi-rugi daya pada penghantar netral transformator didapatkan berdasarkan persamaan:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (2.7)$$

Di mana:

$$P_N = \text{Rugi-rugi pada penghantar netral transformator (W)}$$

In = Arus yang mengalir pada netral transformator (A)

RN = Tahanan penghantar netral transformator (Ω)

Rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \quad (2.8)$$

Dimana:

P = Rugi-rugi daya pada jaringan (W)

I = Arus beban jaringan (A)

R = Tahanan penghantar (Ω)

L = Panjang penghantar (kms)

Perhitungan Rugi-Rugi Daya (*Losses*) pada Saluran Distribusi

Persamaan umum rugi-rugi daya aktif:

$$\Delta P = I^2 \cdot \Delta R \quad (2.9)$$

Keterangan:

- ΔP = Rugi daya aktif (watt)
- I = Arus beban (ampere)
- R = Tahanan saluran (ohm)

Persamaan umum rugi-rugi daya reaktif:

$$\Delta Q = I^2 \cdot \Delta X_L \quad (2.10)$$

- ΔQ = Rugi daya reaktif (VAR)
- I = Arus beban (ampere)
- X_L = Reaktansi jaringan (ohm)

2.2.2.3 Metode Newton Raphson Menyelesaikan Studi Aliran Daya

(Arjuna S.K. 2023) Dasar dari metode Newton Raphson dalam penyelesaian aliran daya adalah deret Taylor untuk suatu fungsi

dengan dua variable lebih. Metode Newton Raphson menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus.

Daya injeksi pada bus I adalah :

$$P_i - j Q_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.11)$$

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

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

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

$$\text{Karena } e^{j(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})} = \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) + j \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$$

pemisahan daya pada bus I menjadi komponen real dan imaginer adalah :

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

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.12)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.13)$$

Nilai Pi dan Qi telah diketahui, tetapi nilai Vi dan δ_i tidak diketahui kecuali pada slack bus. Kedua persamaan non linier tersebut

dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan simultan linier dengan cara menyatakan hubungan antara perubahan daya nyata ΔP_i dan daya reaktif ΔQ_i terhadap perubahan magnitude tegangan ΔV_i dan sudut fasa tegangan $\Delta \delta_i$.

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

Elemen – elemen matriks Jacobi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan daya nyata dan reaktif pada bus I dari persamaan (2.4) dan (2.5) yang diturunkan sebagai berikut : (i = 1, 2, ... , n-1).

Elemen-elemen off-diagonal dari J1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.14)$$

Elemen diagonal dari J1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.15)$$

Elemen off-diagonal dari J2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.16)$$

Elemen diagonal dari J2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i Y_{ij}| \cos(\theta_{ij}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.17)$$

Elemen off-diagonal dari J3 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.18)$$

Elemen diagonal dari J3 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i Y_{ij}| \cos(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) h \quad (2.19)$$

Elemen off-diagonal dari J4 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = -|V_i Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}), j \neq i \quad (2.20)$$

Elemen diagonal dari J4 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = -2 |V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\delta_j - \delta_i + \theta_{ij}) \quad (2.21)$$

Elemen-elemen matriks Jacobi dihitung setiap akan melakukan iterasi. Perhitungan iterasi dimulai dengan memberikan perkiraan magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan mula-mula. Perubahan perubahan dalam daya nyata dan daya reaktif yang telah dijadwalkan dikurangi dengan daya nyata dan daya reaktif yang dihitung dari persamaan (2.6) sampai (2.13).

$$\begin{aligned} \Delta P_i^k &= P_i(\text{terjadwal}) - P_i^k \\ \Delta Q_i^k &= Q_i(\text{terjadwal}) - Q_i^k \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (2.22)$$

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

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

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

$$\begin{aligned}\delta i^{k+1} &= \delta i^k + \Delta \delta i^k \\ |V_i|^{k+1} &= |V_i|^k + \Delta |V_i|^k\end{aligned}\quad (2.23)$$

Jadi iterasi selesai bila,

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

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

2.2.2.4 Aplikasi Electric Transient and Analysis Program

ETAP Power Station 19.0.1

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) adalah suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data realtime atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik,.

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit

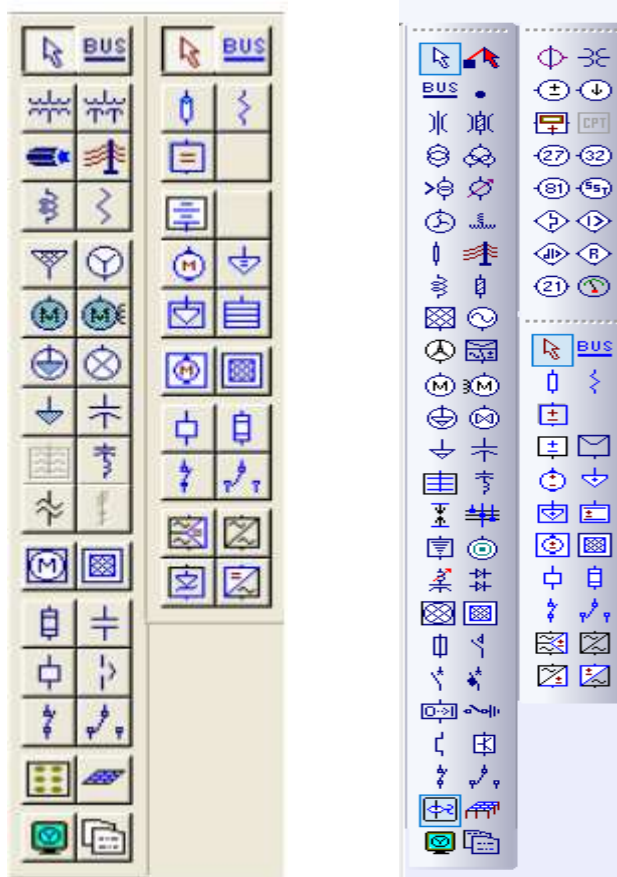
langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. (Permadi, 2022)

Analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan pada software ETAP antara lain :

- A) Analisa aliran daya
- B) Analisa hubung singkat
- C) Arc Flash Analysis 32
- D) Starting motor
- E) Koordinasi proteksi
- F) Analisa kestabilan transien, dan lainnya

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

ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) merupakan sebuah software yang dapat mensimulasikan sistem tenaga listrik, yang mana secara garis besar digunakan sebagai percobaan dalam mensimulasikan sebuah penyettingan dan analisis dari sistem tenaga listrik apakah bekerja sesuai dengan yang ditentukan atau tidak, kemudian dapat menghitung gangguan hubung singkat serta koordinasi proteksi. (Alwie et al., 2020)



Gambar 2. 10 Elemen standar ANSI dan IEC

Beberapa elemen yang digunakan dalam suatu diagram saluran tunggal adalah :

a. Generator

Merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik.



Gambar 2. 11 Simbol Generator di ETAP

b. Transformator

Berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan dengan rasio tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik.



Gambar 2. 12 Simbol Transformator standar ANSI dan IEC

c. Pemutus Rangkaian

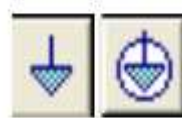
Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek.



Gambar 2. 13 Simbol pemutus rangkaian di ETAP

d. Beban

Di ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis.



Gambar 2. 14 Simbol beban statis di ETAP

Adapun toolbar untuk analisis rangkaian urutan ada dua macam standar yang dipilih.

1. Toolbar ANSI Standar



Gambar 2. 15 Toolbar ANSI Standar

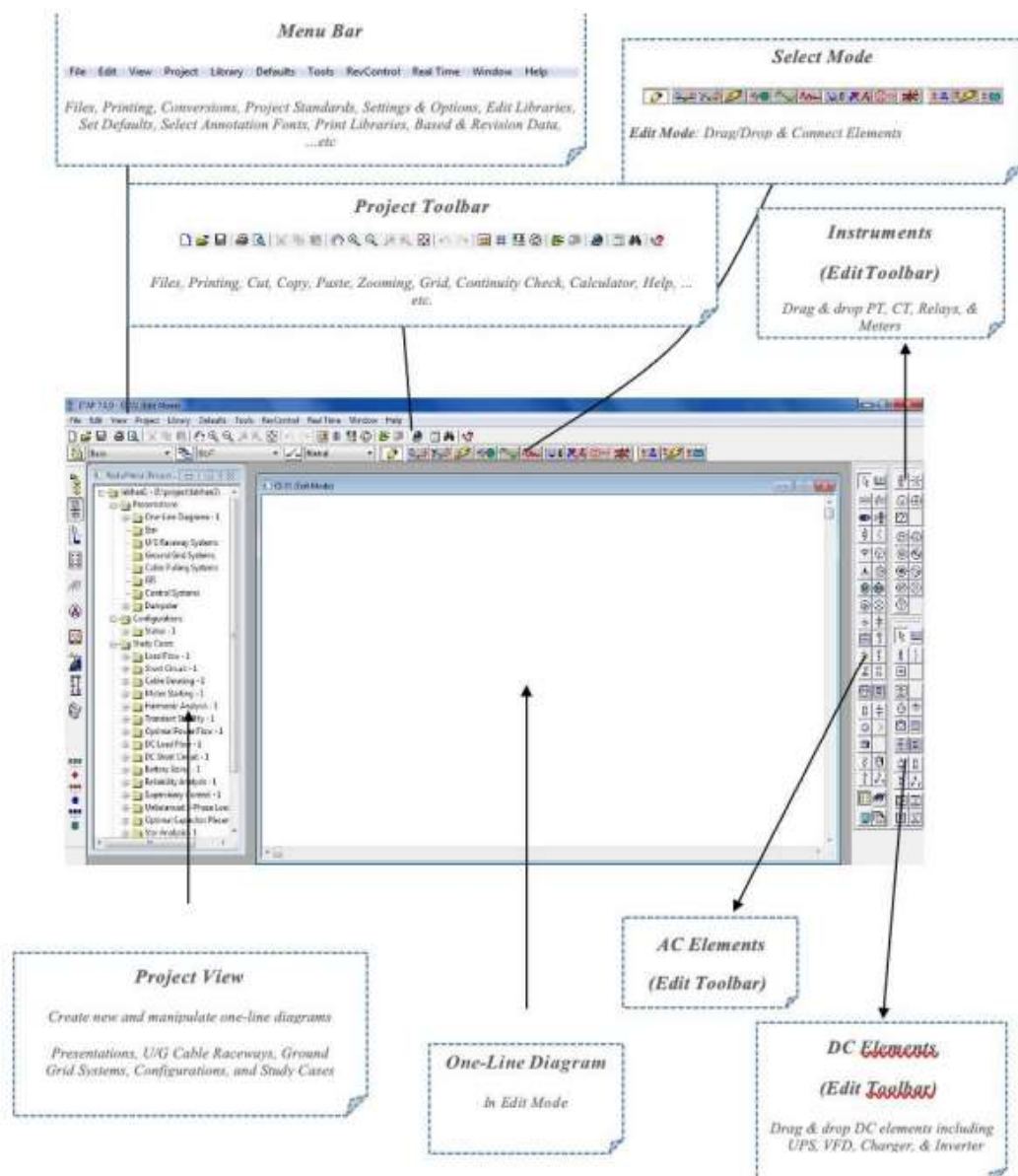
2. Toolbar IEC Standar



Gambar 2. 16 Toolbar IEC Standar

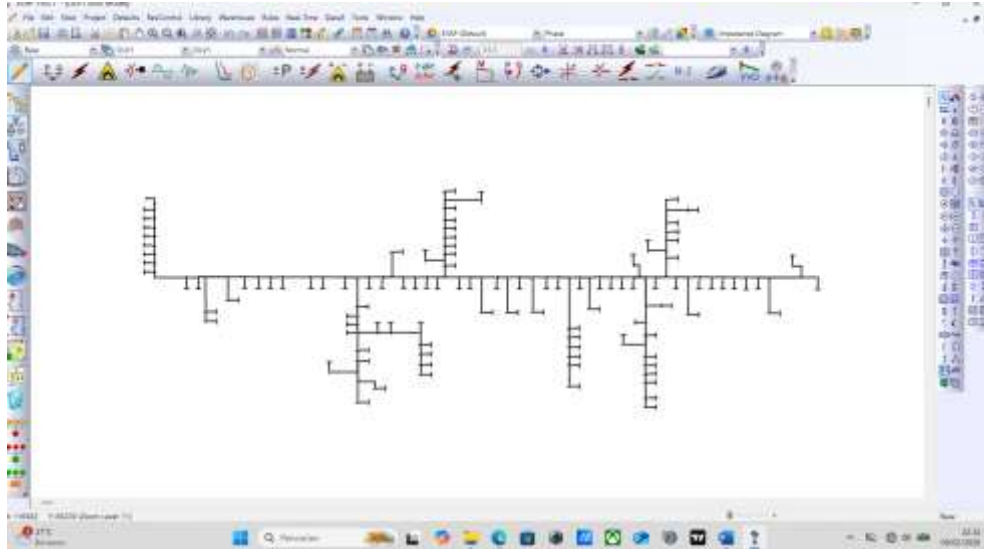
Cara menjalankan ETAP adalah sebagai berikut :

1. Instal aplikasi ETAP 19.01
2. Buka Aplikasi ETAP yang telah terinstal
3. Setelah aplikasi terbuka, klik menu File lalu pilih New untuk membuka lembar kerja baru.
4. Setelah itu, akan muncul lembar kerja baru dilayar Anda seperti Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2. 17 Lembar Kerja

5. Setelah itu klik project untuk standar (IEC atau ANSI) dan tulis nama Anda sebagai engineer dari project yang akan Anda buat di ETAP.
6. Setelah itu, rangkailah single line diagram sederhana.



Gambar 2. 18 Single Line Diagram

Dari sekian analisa yang dapat dilakukan menggunakan ETAP, terdapat tiga analisa yang dapat dilakukan. Salah satunya yaitu Analisis Aliran Daya.

1. Analisis Aliran Daya

Analisa aliran daya merupakan suatu analisa aliran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran transmisi hingga sampai ke beban (sisi penerima). Idealnya, daya yang dikirim akan sama dengan daya yang diterima beban adalah sama. Namun pada kenyataannya, daya yang dikirim di sisi pengirim tidak sama dengan daya yang diterima di sisi beban, hal ini disebabkan beberapa hal

a. Impedansi pada saluran transmisi.

Impedansi pada saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.

b. Tipe beban yang tersambung jalur

Ada 3 tipe beban, yaitu sistif, induktif, dan kapasitif. Hasil antara

besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi PF sehingga mempengaruhi persaingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.

2.2.3 Hipotesis

1. Variabel Penelitian

- Variabel Bebas (X): Kondisi jaringan distribusi 20 kV (data konduktor, trafo, panjang saluran, konfigurasi jaringan, profil beban).
- Variabel Terikat (Y):
Y₁: Hasil aliran daya (tegangan bus, arus saluran, daya aktif/reaktif).
Y₂: Nilai rugi-rugi daya (kW dan persentase terhadap daya total) pada jaringan.
- Variabel Kontrol: Metode analisis (Load Flow Newton-Raphson), versi ETAP 19.01, data teknis PLN

2. Hipotesis Penelitian

- Hipotesis Umum
Penggunaan perangkat lunak ETAP 19.01 untuk menganalisis aliran daya dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Kotanopan memberikan hasil yang valid dan dapat digunakan untuk menentukan langkah perbaikan efisiensi sistem.
- Hipotesis Nol
Tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil analisis aliran daya dan rugi-rugi daya yang diperoleh menggunakan ETAP 19.01 dengan data lapangan atau metode perhitungan standar.

3. Hipotesis Operasional (spesifik & terukur)

- Tegangan di seluruh bus jaringan distribusi 20 kV hasil simulasi ETAP 19.01 berada dalam batas standar PLN ($\pm 5\%$)

dari tegangan nominal).

- Nilai rugi-rugi daya total pada jaringan distribusi 20 kV lebih besar dari **3%** energi yang disalurkan.
- Optimalisasi pembagian beban berdasarkan hasil simulasi ETAP 19.01 dapat mengurangi rugi-rugi daya minimal **1%** dari kondisi awal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan alat untuk menunjang dalam melakukan penelitian agar sesuai dengan tujuan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Laptop ASUS TUF GAMING A15 Windows 10

Peralatan yang digunakan meliputi satu unit laptop ASUS TUF Gaming A15 dengan sistem operasi Windows 10 yang digunakan sebagai media utama dalam melakukan perhitungan, pengolahan data, simulasi, serta penyusunan laporan penelitian.

2. Software Aplikasi

Selain itu, digunakan juga software aplikasi pendukung yang berfungsi untuk membantu proses analisis data dan simulasi sistem sesuai kebutuhan penelitian.

3. Alat tulis dan Buku Catatan

Alat tulis dan buku catatan turut digunakan sebagai sarana pencatatan data, hasil perhitungan sementara, serta berbagai informasi penting yang diperoleh selama proses penelitian berlangsung, sehingga seluruh tahapan penelitian dapat terdokumentasi dengan baik dan terstruktur.

3.1.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan untuk penelitian adalah :

1. Data Primer

- Data Jaringan Distribusi dari PT PLN ULP Kotanopan

Data jaringan distribusi merupakan data teknis yang menggambarkan kondisi dan konfigurasi sistem distribusi tenaga

listrik pada wilayah penelitian yang dikelola oleh PT PLN (Persero) ULP Kotanopan. Data ini meliputi informasi mengenai panjang dan jenis saluran distribusi (SUTM dan SUTR), jenis serta kapasitas transformator distribusi, jenis konduktor yang digunakan, nilai impedansi saluran, serta titik percabangan atau penyulang (feeder). Data jaringan distribusi berperan penting dalam penelitian karena digunakan untuk menganalisis performa sistem, seperti perhitungan rugi-rugi daya, jatuh tegangan (voltage drop), tingkat pembebanan transformator, serta evaluasi keandalan jaringan distribusi.

- Data Beban Pelanggan

Data beban pelanggan merupakan data yang menunjukkan besarnya daya listrik yang digunakan oleh pelanggan pada wilayah studi. Data ini mencakup jumlah pelanggan berdasarkan golongan tarif, daya tersambung (VA/kVA), beban puncak (peak load), serta profil beban harian maupun bulanan. Dalam penelitian, data beban pelanggan digunakan untuk mengetahui pola konsumsi energi listrik, menghitung total beban pada suatu penyulang, menganalisis keseimbangan beban antar fasa, serta menentukan tingkat pembebanan pada transformator dan jaringan distribusi.

- Peta Jaringan/ *Single Line Diagram* dari PLN

Single Line Diagram (SLD) merupakan representasi skematik sistem tenaga listrik yang disederhanakan dalam bentuk satu garis untuk mewakili sistem tiga fasa. SLD yang diperoleh dari PT PLN (Persero) menggambarkan hubungan antara gardu induk, penyulang (feeder), transformator distribusi, titik percabangan jaringan, serta peralatan proteksi seperti recloser dan Load Break Switch (LBS). Dalam penelitian, SLD digunakan untuk memahami konfigurasi sistem distribusi, menentukan titik-titik analisis, melakukan simulasi aliran daya (load flow), serta

mengidentifikasi lokasi yang berpotensi mengalami gangguan atau penurunan tegangan.

2. Data Sekunder

- Literatur dan referensi dari jurnal, skripsi terdahulu yang relevan.

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai literatur dan referensi yang relevan, seperti jurnal ilmiah, buku teks, standar teknis, serta skripsi atau penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian. Data ini digunakan sebagai landasan teori dan acuan dalam penyusunan metode serta analisis penelitian, sehingga dapat memperkuat dasar ilmiah yang digunakan. Melalui kajian terhadap referensi tersebut, peneliti dapat memahami konsep, metode, serta hasil penelitian sebelumnya sebagai bahan perbandingan dan pendukung dalam pembahasan, sekaligus memastikan bahwa penelitian yang dilakukan memiliki kontribusi yang jelas dan terarah.

3.2 Alur Penelitian

Dalam penyusunan dan penulisan penelitian, penulis melakukan beberapa tahapan penelitian yakni:

1. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi permasalahan terkait kualitas tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV di wilayah PT PLN (Persero) ULP Kotanopan.

2. Studi Literatur

Mempelajari teori system distribusi tenaga Listrik, metode analisis aliran daya, perhitungan rugi-rugi daya, dan standar teknis.

3. Pengumpulan Data

- Data jaringan : single line diagram, Panjang & spesifikasi konduktor, impedansi trafo.

- Data beban : daya aktif (kW), daya reaktif (kVar), factor daya tiap gardu
 - Data peralatan pendukung : kapasitor bank, proteksi, pengaturan jaringan.
4. Pemodelan sistem di ETAP 19.01
Menggambarkan single line diagram jaringan 20 kV sesuai data lapangan, memasukkan parameter teknis, dan mengatur konfigurasi sistem radial.
 5. Simulasi Aliran daya (Load Flow Analysis)
Menjalankan simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson pada ETAP 19.01 untuk mendapatkan:
 - Profil tegangan tiap bus
 - Aliran daya aktif & reaktif pada setiap penyulang
 - Besaran rugi-rugi daya pada tiap elemen.
 6. Perhitungan dan Analisis Rugi-rugi daya
Menggunakan hasil simulasi ETAP dan menghitung ulang dengan rumus manual.
 7. Evaluasi Hasil
Membandingkan hasil dengan standar tegangan (5% dari nominal) dan batas rugi-rugi yang diizinkan PLN.
 8. Kesimpulan dan rekomendasi
Menyimpulkan hasil analisis dan memberikan rekomendasi teknis.



Gambar 3. 1 *Flow Chart* Penelitian

3.3 Deskripsi Sistem dan Analisis

3.3.1 Deskripsi Sistem

Sistem distribusi tenaga Listrik pada PT PLN (Persero) ULP Kotanopan merupakan jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) yang berfungsi untuk menyalurkan energi Listrik dari gardu induk ke gardu distribusi, lalu ke pelanggan. Jaringan distribusi ini terdiri atas saluran udara tegangan menengah (SUTM), gardu distribusi, dan saluran distribusi tegangan rendah (SR).

3.3.2 Analisis

Dalam penelitian ini, sistem yang dianalisis meliputi:

- Penyulang (*feeder*) utama yang menyuplai wilayah kerja ULP Kotanopan.

- Jenis konduktor dan Panjang jaringan pada masing-masing penyulang.
- Beban pelanggan pada waktu beban tertentu.
- Data teknis seperti arus beban, tegangan, factor daya, serta kerugian daya aktif (kWh).

Sistem distribusi PT PLN ULP Kotanopan dipetakan berdasarkan struktur jaringan radial, di mana setiap penyulang memiliki titik suplai dan distribusi yang terpisah. Oleh karena itu, analisis rugi-rugi daya dilakukan pada masing-masing penyulang agar dapat diketahui sejauh mana efisiensi penyaluran energi Listrik dan potensi perbaikan teknis

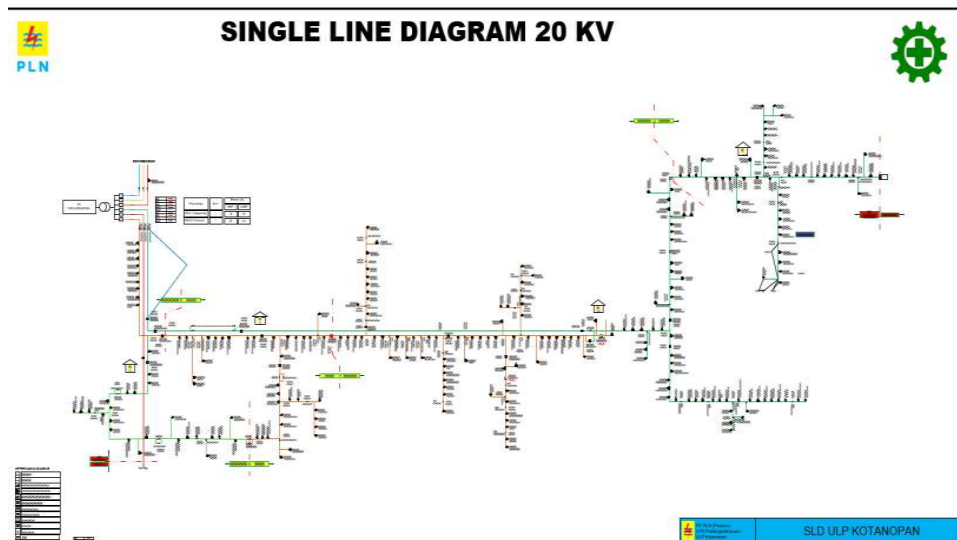
3.4 Data Penyulang YB3

Penelitian ini menggunakan data real sistem distribusi tegangan menengah penyulang YB3 dari PT PLN (Persero) ULP Kotanopan.

3.4.1 Single line diagram penyulang YB3

Single Line Diagram (SLD) digunakan untuk menggambarkan konfigurasi jaringan distribusi 20 kV ULP Kotanopan secara sederhana namun informatif. SLD ini menjadi acuan utama dalam pemodelan sistem di ETAP 19.01, di mana setiap bus, saluran, dan beban dimodelkan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

SLD hasil pemodelan ETAP menggambarkan hubungan antar komponen sistem, mulai dari sumber, feeder, hingga gardu distribusi. Dengan adanya SLD ini, analisis aliran daya dapat dilakukan secara menyeluruh dan terstruktur.



Gambar 3. 2 Single Line Diagram

3.4.2 Data Trafo dan Beban per Gardu Penyulang YB3

Tabel 3. 1 Data Trafo dan Beban per Gardu

No	kode Gardu	Alamat	Daya Trafo	Jurusan Outgoing LWBP		
				R	S	T
1	MG01	PASARMAGA	100	44	42,4	42,3
2	MG24	PASARMAGASISIP	50	25,2	24,6	26,6
3	MG31	PASAR MAGA SISIP	50	9	7,3	7,5
4	MG47	SIBANGGOR TONGA SISIP	50	12,6	11	10,8
5	MG48	SIBANGGOR JULU	50	18,3	17,9	17,6
6	MG10	SIBANGGORJULU	50	15	17	16
7	MG09	SIBANGGORTONGA	25	25,	26	1

				6		
8	MG43	TOWER HT LOMBANG	50	4,9	4,2	4,3
9	MG23	HTBARINGIN	16	12, 3	2	11, 3
10	MG15	HTBARINGINJULU	25	14	14, 3	2
11	MG35	HUTANAMALE SISIP	50	10, 5	9,1	10, 2
12	MG13	HUTANAMALE	50	13	14	14, 2
13	MG12	HUTATINGGI	50	18, 6	20	19, 7
14	MG22	HANDEL	25	12, 6	14, 5	13, 5
15	MG32	HANDEL SISIP	50	7	8	8
16	MG08	HUTALOMBANG	50	15, 3	14, 7	15, 4
17	MG07	MAGADOLOK	50	7,3	6,1	8,7
18	MG29	MAGA DOLOK SISIP	50	2,7	3,3	2,5
19	MG11	SPBUSABAPURBA	50	10	7	8
20	MG45	SABA PURBA SISIP 2	50	23	21	26
21	MG21	PURBABARU	160	50	47	48
22	MG33	PURBA BARU	50	26	28	22
23	MG25	PURBABARUPONDOK	25	40	38	44
24	MG36	P.BARU PESANTREN PUTRI	50	22	20	22
25	MG19	PURBABARUPESANTREN	25	80	83	98
26	MG20	PURBABARUDEKATMASJI D	100	57	45	77
27	MG30	PURBA LAMO SISIP	50	13,	11,	12

				8	1	
28	MG05	PURBALAMO	16	13,6	9,1	10,2
29	MG39	PT.SMGP1	200	90	71	83
30	MG40	PT. SMGP 2	200	82	61	68
31	MG04	BANGUNPURBA	100	33,5	34,6	33,1
32	MG50	BATU GODANG MAGA	50	19,3	18,2	19
33	MG03	AEKMARIAN	50	6,5	6,3	6,7
34	MG28	AEK MARIAN MAGA SISIP	100	20,5	18,6	19,6
35	MG18	KANTORCAMATTB	25	4	4	4
36	MG02	MAGALOMBANG	100	37,4	31,2	29,4
37	MG49	PESANTREN PASAR MAGA	25	12,5	12,5	11,2
38	MG17	PESANTRENMAGA -	25	5	5,2	5
39	MG14	SIANTONA	25	18	17,2	1
40	MG27	MAGALOMBANGSISIP	50	13	12	14
41	MG06	PANGKAT -	25	8,8	6,6	7,7
42	LR11	HUTA TONGA	50	12	13	9
43	LR14	A.B.LAMA	25	11	1	22
44	LR05	MUARAMAISKAMPUNG	25	7	7	8
45	LR10	RAO-RAOLOMBANG	50	13	13	14
46	LR16	RAO-RAODOLOK	50	25	24	28
47	LR09	TAMBANGANPASOMAN	25	14	1	15
48	LR20	TAMBANGANTONGASISIP	50	20	20	21
49	LR08	TAMBANGANTONGA	50	19	20	40

50	LR07	TAMBANGANJAE	25	13	15	21
51	LR15	SIMANGAMBATTB	25	10	18	9
52	LR12	SABARIMBAHAN	25	9	6	8
53	LR02	LARULOMBANG	25	33	19	22
54	LR19	LARULOMBANGSISIP	50	19	19	22
55	LR21	PASARLARUSISIP	25	18	16	20
56	LR01	PASARLARU	50	31	28	40
57	LR03	LUMBANPASIR	50	19	20	25
58	LR17	RAO-RAOPANJARINGAN	50	9	1	22
59	LR06	PASTAPJAE	25	4	9	1
60	LR18	PASTAPJULU	25	8	5	7
61	LR13	LARUDOLOK	25	18	1	10
62	LR04	MUARAMAISJAMBUR	16	5	1	4
63	KN31	KANTORPLNKOTANOPAN	50	30	36	22
64	KN59	GUNUNGTUAMUARASOR O	50	18	17	17
65	KN77	ANGGORA SISIP	50	27	23	26
66	KN52	PADANGSANGGAR	25	7	10	7
67	KN65	M. MAIS KAMPUNG SISIP	50	6	8	13
68	KN64	TBGN JAE SISIP	50	14	15	16
69	KN80	LARU BARINGIN	100	23	30	23
70	KN82	M. MAIS JAMBUR SISIP	50	14	12	4
71	KN41	ANGGORA	50	24	24	25
72	KN18	SOPOLUBIS	25	16	18	17
73	KN43	TAMBANGBUSTAK	50	38	29	30
74	KN02	PASENDENG	100	92	83	72
75	KN58	JAMBURTARUTUNG	100	34	32	21
76	KN03	DUTASELERA	160	106	116	86
77	KN76	SAWAHAN	100	27	25	31
78	KN46	PASARKOTANOPAN	50	75	63	66

79	KN04	TARANDAM	100	61	43	46
80	KN05	SAYURMAINCAT	50	30	25	27
81	KN84	SAYUR MAINCAT SISIP	50	14	14	14
82	KN75	SINGENGU SISIP	100	26	25	28
83	KN44	SINGENGU	100	29	32	29
84	KN60	JAMBUKACANG SPBU	50	17	19	17
85	KN13	SABADOLOK	100	34	37	43
86	KN29	SABAPASIR	16	6	6	7
87	KN83	SIAPI API PONDOK DUTA	25	7	8	5
88	KN12	HTRIMBARU	50	17	16	26
89	KN51	HTRIMBARUSISIP	25	13	12	12
90	KN71	HT PADANG KNP	50	8	7	7
91	KN70	PASTAP JAE SISIP	50	2	11	6
92	KN48	SPGTOLANGJULU	50	15	14	6
93	KN19	SPGTOLANGJAE	16	9	7	6
94	KN66	UJUNG MARISI LOMBANG	50	19, 5	19, 5	19, 5
95	KN33	UJUNGMARISIDOLOK	16	1	10	1
96	KN34	SIBIO-BIO	16	8	1	1
97	KN40	PAGARGUNUNGSIBUNBU N	25	5	6	6
98	KN35	PAGARGUNUNG	16	4	1	1
99	KN39	HUTAPULI	16	7	5	1
100	KN73	SITAUULTAUL	50	3	4	1
101	KN47	G.TSIMANDOLAM	16	10	0	6
102	KN56	SIMANDOLAM	25	2,8	2,1	3,7
103	KN55	MUARAPANGKASE	25	0,4	0	1,3
104	KN57	AEKMARIANSIMANDOLA M	25	10	4,3	2,3

3.4.3 Data Beban per gardu LWBP dan WBP

Tabel 3. 2 Data Beban per gardu LWBP dan WBP

No	kode Gardu	Daya Trafiko	Jurusan Outgoing LWBP				Jurusan Outgoing WBP			
			R	S	T	N	R	S	T	N
1	MG01	100	44	42,4	42,3	36,1	58,5	60	58	49,5
2	MG24	50	25,2	24,6	26,6	15,8	32,2	31,3	32,2	22,8
3	MG31	50	9	7,3	7,5	6,9	17,4	15,8	14,3	12,3
4	MG47	50	12,6	11	10,8	8,5	19	20	23	20
5	MG48	50	18,3	17,9	17,6	15,3	40	37	38	27
6	MG10	50	15	17	16	13	20,8	22,3	21	15
7	MG09	25	25,6	26	1	19,6	35	36	1	29
8	MG43	50	4,9	4,2	4,3	4,1	7,9	7,5	7	6,4
9	MG23	16	12,3	2	11,3	12,1	22,6	2	22	22
10	MG15	25	14	14,3	2	12,8	27	26,1	2	22,6
11	MG35	50	10,5	9,1	10,2	9,1	21,1	19	21,1	13
12	MG13	50	13	14	14,2	13,5	29,6	32	30,7	15,2
13	MG12	50	18,	20	19,	11,	48	49,	50	23,

			6		7	1		2		5
14	MG22	25	12, 6	14, 5	13, 5	6	29, 3	26	26, 2	7,9
15	MG32	50	7	8	8	7,2	17	19	19	12, 3
16	MG08	50	15, 3	14, 7	15, 4	7	32, 4	34, 1	32, 1	34, 9
17	MG07	50	7,3	6,1	8,7	5	14, 5	11, 5	15	16
18	MG29	50	2,7	3,3	2,5	2,3	7,1	5,3	7,2	6,4
19	MG11	50	10	7	8	6	12	13	15	13
20	MG45	50	23	21	26	14	27	28	29	24, 9
21	MG21	160	50	47	48	37	82	73	55	77, 6
22	MG33	50	26	28	22	28	34	42	36	25, 6
23	MG25	25	40	38	44	41	74	62	62	45
24	MG36	50	22	20	22	13	22	20	24	20
25	MG19	25	80	83	98	46	105	116	93	30
26	MG20	100	57	45	77	61	82	66	78	84
27	MG30	50	13, 8	11, 1	12	11, 3	31, 1	27, 4	28	24, 1
28	MG05	16	13, 6	9,1	10, 2	5,4	19, 1	16, 3	15, 9	12, 1
29	MG39	200	90	71	83	23	66	69	41	28, 6
30	MG40	200	82	61	68	23	57	51, 1	48	17, 5
31	MG04	100	33,	34,	33,	17,	83,	83,	78,	44,

			5	6	1	5	1	5	1	1
32	MG50	50	19, 3	18, 2	19	17, 1	28, 3	27, 5	29, 8	28
33	MG03	50	6,5	6,3	6,7	5	16, 2	16, 1	17, 1	11, 6
34	MG28	100	20, 5	18, 6	19, 6	11, 1	28, 7	27, 6	28, 2	20, 1
35	MG18	25	4	4	4	1,2	5	4	5	1,4
36	MG02	100	37, 4	31, 2	29, 4	16, 5	67, 3	64, 4	68, 7	35, 2
37	MG49	25	12, 5	12, 5	11, 2	9,3	16, 3	16, 3	15, 3	14, 1
38	MG17	25	5	5,2	5	3,2	8,3	7	6,7	5,3
39	MG14	25	18	17, 2	1	10, 5	27, 3	30	1	22
40	MG27	50	13	12	14	6,9	19	18	21	7,1
41	MG06	25	8,8	6,6	7,7	4,3	24	23, 6	22, 5	19, 1
42	LR11	50	12	13	9	10	30	26	21	26
43	LR14	25	11	1	22	15	24	1	42	26
44	LR05	25	7	7	8	5	8	15	14	10
45	LR10	50	13	13	14	11	16	18	20	18
46	LR16	50	25	24	28	15	53	44	47	28
47	LR09	25	14	1	15	11	40	1	26	21
48	LR20	50	20	20	21	13	28	31	25	28
49	LR08	50	19	20	40	14	28	31	85	30
50	LR07	25	13	15	21	14	31	24	39	26
51	LR15	25	10	18	9	10	46	31	24	20
52	LR12	25	9	6	8	9	11	11	16	13
53	LR02	25	33	19	20	25	56	33	26	48

54	LR19	50	19	19	22	16	26	20	30	28
55	LR21	25	18	16	20	15	25	22	30	25
56	LR01	50	31	28	40	24	45	47	63	45
57	LR03	50	19	20	25	24	40	37	45	36
58	LR17	25	4	9	1	5	10	17	1	9
59	LR06	25	8	5	7	6	13	10	5	13
60	LR18	25	18	1	10	18	42	1	32	44
61	LR13	16	5	1	4	2	15	1	11	4
62	LR04	50	9	1	22	25	53	1	37	46
63	KN31	50	30	36	22	22	44	46	40	34
64	KN59	50	18	17	17	13	30	32	30	27
65	KN77	50	27	23	26	15	28	32	34	23
66	KN52	25	7	10	7	6	18	17	10	16
67	KN65	50	6	8	13	12	16	9	22	17
68	KN64	50	14	15	16	10	23	23	24	17
69	KN80	100	23	30	23	16	43	54	41	37
70	KN82	50	14	12	4	20	18	20	6	25
71	KN41	50	24	24	25	25	36	40	40	34
72	KN18	25	16	18	17	20	23	26	24	25
73	KN43	50	38	29	30	33	71	52	53	59
74	KN02	100	92	83	72	49	112	105	89	75
75	KN58	100	34	32	21	19	44	39	30	37
76	KN03	160	106	116	86	73	189	144	116	77
77	KN76	100	27	25	31	27	45	36	39	39
78	KN46	50	75	63	66	52	67	52	50	47
79	KN04	100	61	43	46	36	105	73	70	75
80	KN05	50	30	25	27	20	39	50	30	31
81	KN84	50	14	14	14	10	21	22	24	13
82	KN75	100	26	25	28	16	37	38	35	21
83	KN44	100	29	32	29	21	53	54	54	41

84	KN60	50	17	19	17	14	25	23	32	29
85	KN13	100	34	37	43	35	46	57	75	59
86	KN29	16	6	6	7	9	12	13	11	20
87	KN83	25	7	8	5	8	8	10	9	17
88	KN12	50	17	16	26	20	39	28	47	27
89	KN51	25	13	12	12	7	21	17	22	19
90	KN71	50	8	7	7	4	10	9	9	8
91	KN70	50	2	11	6	10	2	17	7	17
92	KN48	50	15	14	6	8	27	21	14	11
93	KN19	16	9	7	1	9	13	12	1	13
94	KN66	50	19,5	19,5	19,5	19,5	41,1	41,1	41,1	41,1
95	KN33	16	1	10	1	8	1	16	1	13
96	KN34	16	8	1	1	7	12	1	1	9
97	KN40	25	5	6	6	4	7	6	7	7
98	KN35	16	4	1	1	4	10	1	1	10
99	KN39	16	7	5	1	5	15	11	1	11
100	KN73	50	3	4	1	3	7	9	3	7
101	KN47	16	10	1	6	7	22	1	19	12
102	KN56	25	2,8	2,1	3,7	2,5	4,2	5,8	7	6,1
103	KN55	25	0,4	1	1,3	1,4	0,6	1	2,1	2,6
104	KN57	25	10	4,3	2,3	2,1	14,5	7,2	5,4	11,7

3.4.4 Data Jarak Antar Gardu

Tabel 3. 3 Data Jarak Antar Gardu

No.	Dari Gardu – ke Gardu	Alamat	Jarak (km)	Luas penampang
1.	GI - MG.011	SPBU Saba Purba	0,350	150 mm ²
2.	MG.011 - MG.045	Saba purba	0,460	150 mm ²
3.	MG.045 - MG.021	Purba baru	1,322	150 mm ²

4.	MG.021 - MG.033	Pondok Putri	0,210	150 mm ²
5.	MG.033 - MG.025	Pondok putra	0,233	150 mm ²
6.	MG.025 - MG.036	Pondok putri	0,220	150 mm ²
7.	MG.036 - MG.019	Purba pesantren	0,208	150 mm ²
8.	MG.019 - MG.020	Mesjid	0,210	150 mm ²
9.	MG.020 - MG.030	Sisip Purba Lamo	5,720	150 mm ²
10.	MG.030 - MG.005	Purba Lamo	0,635	150 mm ²
11.	MG.005 - MG.039	SMGP 1	4,010	150 mm ²
12.	MG.039 - MG.040	SMGP 2	2,602	150 mm ²
13.	MG.005 - MG.014	Siantona	3,226	70 mm ²
14.	MG.005 - MG.004	Bangun purba	1,833	150 mm ²
15.	MG.004 - MG.050	Batu godang	1,520	150 mm ²
16.	MG.050 - MG.003	Aek marian	1,600	150 mm ²
17.	MG.003 - MG.028	Aek marian sisip	0,534	150 mm ²
18.	MG.028- MG.049	Pesanteren Maga	3,110	150 mm ²
19.	MG.049 - MG.017	Pesantren maga	0,452	150 mm ²
20.	MG.017 - MG.024	Sp Pasar Maga	0,320	150 mm ²
21.	MG.024 - MG.031	Sisip 2 Pasar maga	0,522	150 mm ²
22.	MG.031- MG.029	SISIP maga dolok	2,033	70 mm ²
23.	MG.029 - MG.007	Maga Dolok	0,720	70 mm ²
24.	MG.007 - MG.008	Maga Lombang	0,621	70 mm ²
25.	MG.008 - MG.032	Sisip Handel	0,323	70 mm ²
26.	MG.032 - MG.022	Handel	0,354	70 mm ²
27.	MG.022 - MG.012	Huta tinggi	0,793	35 mm ²
28.	MG.012 - MG.013	Hutanamale	0,530	70 mm ²
29.	MG.013 - MG.035	Sisip Htn	0,526	70 mm ²
30.	MG.035 - MG.023	Hutabaringin	0,542	70 mm ²
31.	MG.023 - MG.015	Hutabaringin julu	0,537	70 mm ²
32.	MG.008 - MG.043	Tower Hutalombang	0,580	70 mm ²
33.	MG.043 - MG.009	Sibanggor tonga	0,423	70 mm ²
34.	MG.009 - MG.047	Sibanggor Tonga	0,683	70 mm ²
35.	MG.009 - MG.010	Sibanggor julu	1,304	70 mm ²
36.	MG.009 - MG.048	Sibanggor Julu	0,216	70 mm ²
37.	MG.024 - MG.001	Pasar Maga	0,465	150 mm ²
38.	MG.001 - MG.002	Maga lombang	0,303	150 mm ²
39.	MG.002 - MG.006	Pangkat	1,835	70 mm ²
40.	MG.002 - MG.027	Sisip Maga lombang	1,760	150 mm ²
41.	MG.027 - MG.018	Kantor camat	0,533	150 mm ²
42.	MG.018 - LR.002	Laru lombang	0,450	150 mm ²
43.	LR.002 - LR.019	Laru sisip	0,421	150 mm ²
44.	LR.019 - LR.012	Saba rimbahan	1,326	70 mm ²
45.	LR.012 - LR.015	Simangambat	1,611	70 mm ²
46.	LR.012 - LR.007	Tambangan JAE	0,420	70 mm ²
47.	LR.007 - KN.064	Tamb Jae Sisip	0,375	70 mm ²

48.	KN.064 - LR.008	Tambangan tonga	0,321	70 mm ²
49.	LR.008 - LR.020	Tamb Jae	0,362	70 mm ²
50.	LR.020 - LR.009	Pasoman	0,335	70 mm ²
51.	LR.009 - LR.016	Rao2 dolok	2,618	70 mm ²
52.	LR.016 - LR.017	Panjaringan	3,981	70 mm ²
53.	LR.016 - LR.010	Rao2 lombang	0,485	70 mm ²
54.	LR.019 - LR.021	Sisip Pasar	0,357	150 mm ²
55.	LR.021 - LR.001	Pasar laru	0,368	150 mm ²
56.	LR.001 - LR.013	Laru dolok	2,275	35 mm ²
57.	LR.001 - LR.080	Laru BARINGIN	0,250	150 mm ²
58.	LR.080 - LR.011	Ht tonga	0,435	70 mm ²
59.	LR.080 - LR.003	Lumban pasir	1,668	150 mm ²
60.	LR.003 - LR.014	Angin barat lama	2,776	35 mm ²
61.	LR.003 - KN.082	M mais sisip	0,520	150 mm ²
62.	KN.082 - LR.004	M Mais jambur	0,345	150 mm ²
63.	LR.004 - KN.065	M mais kampng sisip	1,392	70 mm ²
64.	KN.065 - LR.005	M mais kampung	0,306	70 mm ²
65.	LR.005 - KN.052	Padang sanggar	0,850	70 mm ²
66.	KN.052 - KN.070	Pastaf jae	2,201	70 mm ²
67.	KN.070 - LR.006	Pastaf jae	0,510	70 mm ²
68.	LR.006 - LR.018	Pastaf julu	2,252	35 mm ²
69.	LR.004 - KN.083	Pondok duta	3,305	150 mm ²
70.	KN.083 - KN.073	Sitaul2	2,359	70 mm ²
71.	KN.083 - KN.029	Saba pasir	1,730	150 mm ²
72.	KN.029 - KN.013	Saba dolok	1,206	150 mm ²
73.	KN.013 - KN.060	SPBU	0,450	150 mm ²
74.	KN.060 - KN.044	Singengu	0,550	150 mm ²
75.	KN.044 - KN.075	Singengu	0,042	70 mm ²
76.	KN.044 - KN.084	Syr maincat	0,965	70 mm ²
77.	KN.044 - KN.005	Syr maincat	0,230	70 mm ²
78.	KN.005 - KN.019	S Tolang jae	3,402	70 mm ²
79.	KN.019 - KN.039	Huta puli	2,564	35 mm ²
80.	KN.019 - KN.048	S tolang julu	0,320	70 mm ²
81.	KN.048 - KN.066	U marisi lombang	0,664	70 mm ²
82.	KN.066 - KN.033	U marisi dolok	0,305	70 mm ²
83.	KN.033 - KN.034	Sibio2	2,102	35 mm ²
84.	KN.034 - KN.040	Sibunbun	3,030	35 mm ²
85.	KN.040 - KN.035	Pagar gunung	9,653	35 mm ²
86.	KN.044 - KN.004	Hutarandam	0,171	70 mm ²
87.	KN.004 - KN.071	Tarandam	0,220	70 mm ²
88.	KN.071 - KN.047	G tua SM	6,797	70 mm ²
89.	KN.071 - KN.051	Sisip htrim	0,561	70 mm ²
90.	KN.051 - KN.012	Huratimbaru	0,355	70 mm ²
91.	KN.012 - KN.055	M pangkase	3,105	70 mm ²

92.	KN.055 - KN.057	Aek marian	3,533	70 mm ²
93.	KN.055 - KN.056	simandolam	3,300	70 mm ²
94.	KN.004 - KN.046	Sisip pasar	0,356	150 mm ²
95.	KN.046 - KN.076	Sawahan	0,401	70 mm ²
96.	KN.046 - KN.003	Duta selera	0,236	150 mm ²
97.	KN.003 - KN.058	Jambur tarutung	0,529	150 mm ²
98.	KN.058 - KN.002	Pasendeng	0,570	150 mm ²
99.	KN.002 - KN.042	Tombang bustak	0,357	150 mm ²
100.	KN.042 - KN.018	Sopo lubis	0,119	150 mm ²
101.	KN.018 - KN.041	Anggora	0,532	150 mm ²
102.	KN.041 - KN.077	Puskesmas	0,165	70 mm ²
103.	KN.041 - KN.031	Kantor PLN	0,235	150 mm ²
104.	KN.041 - KN.059	Muara Soro	0,136	150 mm ²

3.4.5 Data Arus Rata-rata LWBP dan WBP

Tabel 3. 4 Data Arus Rata-rata LWBP

no	Kode Gardu	Outgoing Tafo			Arus Rata-Rata
		R	S	T	
1	KN02	92	83	72	82,33
2	KN03	106	116	86	102,67
3	KN04	61	43	46	50,00
4	KN05	30	25	27	27,33
5	KN12	17	16	26	19,67
6	KN13	34	37	43	38,00
7	KN18	16	18	17	17,00
8	KN19	9	7	0	5,33
9	KN29	6	6	7	6,33
10	KN31	30	36	22	29,33
11	KN33	1	10	0	3,67
12	KN34	8	0	0	2,67
13	KN35	4	0	0	1,33
14	KN39	7	5	0	4,00
15	KN40	5	6	6	5,67
16	KN41	24	24	25	24,33
17	KN43	38	29	30	32,33
18	KN44	29	32	29	30,00
19	KN46	75	63	66	68,00
20	KN47	10	0	6	5,33
21	KN48	15	14	6	11,67
22	KN51	13	12	12	12,33

23	KN52	7	10	7	8,00
24	KN55	0,4	0	1,3	0,57
25	KN56	2,8	2,1	3,7	2,87
26	KN57	10	4,3	2,3	5,53
27	KN58	34	32	21	29,00
28	KN59	18	17	17	17,33
29	KN60	17	19	17	17,67
30	KN64	14	15	16	15,00
31	KN65	6	8	13	9,00
32	KN66	19,5	19,5	19,5	19,50
33	KN70	2	11	6	6,33
34	KN71	8	7	7	7,33
35	KN73	3	4	1	2,67
36	KN75	26	25	28	26,33
37	KN76	27	25	31	27,67
38	KN77	27	23	26	25,33
39	KN80	23	30	23	25,33
40	KN82	14	12	4	10,00
41	KN83	7	8	5	6,67
42	KN84	14	14	14	14,00
43	LR01	31	28	40	33,00
44	LR02	33	19	20	24,00
45	LR03	19	20	25	21,33
46	LR04	9	0	22	10,33
47	LR05	7	7	8	7,33
48	LR06	8	5	7	6,67
49	LR07	13	15	21	16,33
50	LR08	19	20	40	26,33
51	LR09	14	0	15	9,67
52	LR10	13	13	14	13,33
53	LR11	12	13	9	11,33
54	LR12	9	6	8	7,67
55	LR13	5	0	4	3,00
56	LR14	11	0	22	11,00
57	LR15	10	18	9	12,33
58	LR16	25	24	28	25,67
59	LR17	4	9	0	4,33
60	LR18	18	0	10	9,33
61	LR19	19	19	22	20,00
62	LR20	20	20	21	20,33
63	LR21	18	16	20	18,00
64	MG01	44	42,4	42,3	42,90
65	MG02	37,4	31,2	29,4	32,67
66	MG03	6,5	6,3	6,7	6,50

67	MG04	33,5	34,6	33,1	33,73
68	MG05	13,6	9,1	10,2	10,97
69	MG06	8,8	6,6	7,7	7,70
70	MG07	7,3	6,1	8,7	7,37
71	MG08	15,3	14,7	15,4	15,13
72	MG09	25,6	26	0	17,20
73	MG10	15	17	16	16,00
74	MG11	10	7	8	8,33
75	MG12	18,6	20	19,7	19,43
76	MG13	13	14	14,2	13,73
77	MG14	18	17,2	1	12,07
78	MG15	14	14,3	2	10,10
79	MG17	5	5,2	5	5,07
80	MG18	4	4	4	4,00
81	MG19	80	83	98	87,00
82	MG20	57	45	77	59,67
83	MG21	50	47	48	48,33
84	MG22	12,6	14,5	13,5	13,53
85	MG23	12,3	2	11,3	8,53
86	MG24	25,2	24,6	23,4	24,40
87	MG25	40	38	44	40,67
88	MG27	13	12	14	13,00
89	MG28	20,5	18,6	19,6	19,57
90	MG29	2,7	3,3	2,5	2,83
91	MG30	13,8	11,1	12	12,30
92	MG31	9	7,3	7,5	7,93
93	MG32	7	8	8	7,67
94	MG33	26	28	22	25,33
95	MG35	10,5	9,1	10,2	9,93
96	MG36	22	20	22	21,33
97	MG39	90	71	83	81,33
98	MG40	82	61	68	70,33
99	MG43	4,9	4,2	4,3	4,47
100	MG45	23	21	26	23,33
101	MG47	12,6	11	10,8	11,47
102	MG48	18,3	17,9	17,6	17,93
103	MG49	12,5	12,5	11,2	12,07
104	MG50	19,3	18,2	19	18,83

Tabel 3. 5 Data Arus Rata-rata WBP

no	Kode Gardu	Outgoing Tafo			Arus Rata-Rata
		R	S	T	

1	KN02	112	105	89	102,00
2	KN03	189	144	116	149,67
3	KN04	105	73	70	82,67
4	KN05	39	50	30	39,67
5	KN12	39	28	47	38,00
6	KN13	46	57	75	59,33
7	KN18	23	26	24	24,33
8	KN19	13	12	0	8,33
9	KN29	12	13	11	12,00
10	KN31	44	46	40	43,33
11	KN33	1	16	0	5,67
12	KN34	12	0	0	4,00
13	KN35	10	0	0	3,33
14	KN39	15	11	0	8,67
15	KN40	7	6	7	6,67
16	KN41	36	40	40	38,67
17	KN43	71	52	53	58,67
18	KN44	53	54	54	53,67
19	KN46	67	52	50	56,33
20	KN47	22	0	19	13,67
21	KN48	27	21	14	20,67
22	KN51	21	17	22	20,00
23	KN52	18	17	10	15,00
24	KN55	0,6	0	2,1	0,90
25	KN56	4,2	5,8	7	5,67
26	KN57	14,5	7,2	5,4	9,03
27	KN58	44	39	30	37,67
28	KN59	30	32	30	30,67
29	KN60	25	23	32	26,67
30	KN64	23	23	24	23,33
31	KN65	16	9	22	15,67
32	KN66	41,1	41,1	41,1	41,10
33	KN70	2	17	8	9,00
34	KN71	10	9	9	9,33
35	KN73	7	9	3	6,33
36	KN75	37	38	35	36,67
37	KN76	45	36	39	40,00
38	KN77	28	32	34	31,33
39	KN80	43	54	41	46,00
40	KN82	18	20	6	14,67
41	KN83	8	10	9	9,00
42	KN84	21	22	24	22,33
43	LR01	45	47	63	51,67
44	LR02	56	33	26	38,33

45	LR03	40	37	45	40,67
46	LR04	53	0	37	30,00
47	LR05	8	15	14	12,33
48	LR06	13	10	5	9,33
49	LR07	31	24	39	31,33
50	LR08	28	31	85	48,00
51	LR09	40	0	26	22,00
52	LR10	16	18	20	18,00
53	LR11	30	26	21	25,67
54	LR12	11	11	16	12,67
55	LR13	15	0	11	8,67
56	LR14	24	0	42	22,00
57	LR15	46	31	24	33,67
58	LR16	53	44	47	48,00
59	LR17	10	17	0	9,00
60	LR18	42	0	32	24,67
61	LR19	26	20	30	25,33
62	LR20	28	31	25	28,00
63	LR21	25	22	30	25,67
64	MG01	58,5	60	58	58,83
65	MG02	67,3	64,4	68,7	66,80
66	MG03	16,2	16,1	17,1	16,47
67	MG04	83,1	83,5	78,1	81,57
68	MG05	19,1	16,3	15,9	17,10
69	MG06	24	23,6	22,5	23,37
70	MG07	14,5	11,5	15	13,67
71	MG08	32,4	34,1	32,1	32,87
72	MG09	35	36	0	23,67
73	MG10	20,8	22,3	21	21,37
74	MG11	12	13	15	13,33
75	MG12	48	49,2	50	49,07
76	MG13	29,6	32	30,7	30,77
77	MG14	27,3	30	0	19,10
78	MG15	27	26,1	2	18,37
79	MG17	8,3	7	6,7	7,33
80	MG18	5	4	5	4,67
81	MG19	105	116	93	104,67
82	MG20	82	266	78	142,00
83	MG21	82	73	55	70,00
84	MG22	29,3	26	26,2	27,17
85	MG23	22,6	2	22	15,53
86	MG24	32,2	31,3	32,2	31,90
87	MG25	74	62	62	66,00
88	MG27	19	18	21	19,33

89	MG28	28,7	27,6	28,2	28,17
90	MG29	7,1	5,3	7,2	6,53
91	MG30	31,1	27,4	28	28,83
92	MG31	17,4	15,8	14,3	15,83
93	MG32	17	19	19	18,33
94	MG33	34	42	36	37,33
95	MG35	21,1	19	21,1	20,40
96	MG36	22	20	24	22,00
97	MG39	66	69	41	58,67
98	MG40	57	51,1	48	52,03
99	MG43	7,9	7,5	7	7,47
100	MG45	27	128	29	61,33
101	MG47	19	20	23	20,67
102	MG48	40	37	38	38,33
103	MG49	16,3	16,3	15,3	15,97
104	MG50	28,3	27,5	29,8	28,53

3.5 Prosedur Penelitian

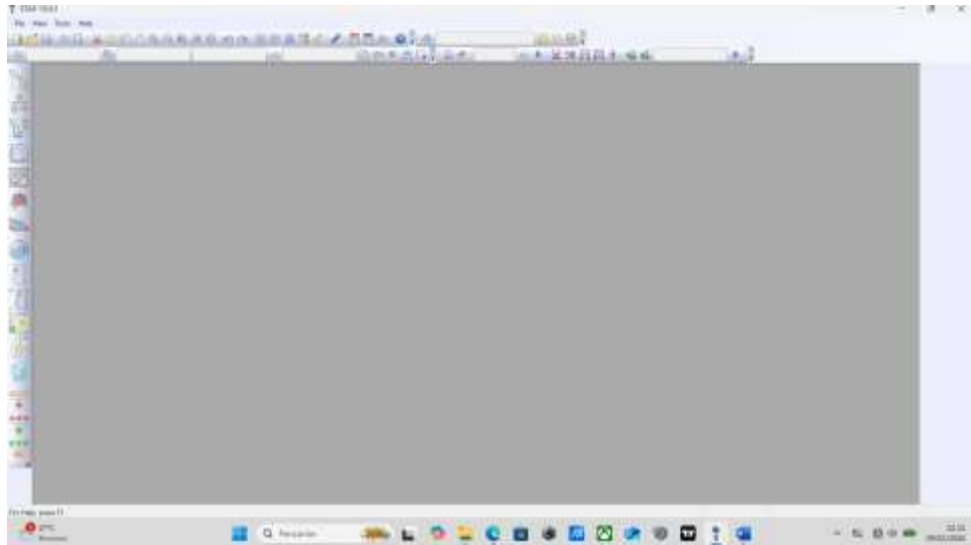
Selanjutnya merancang dan memasukkan data yang didapatkan dari PT.PLN ke dalam software ETAP 19.01 untuk menghitung jatuh tegangan dan *Losses*.

Adapun langkah-langkahnya adalah :

Langkah-langkah menghitung jatuh tegangan dan *Losses* menggunakan software ETAP.

1. Menjalankan Program ETAP 19.01

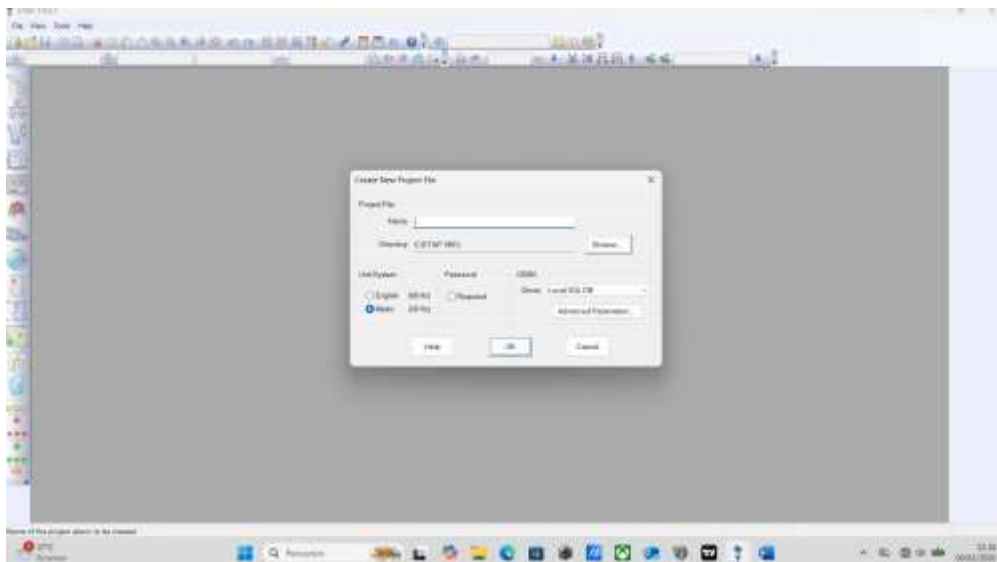
Program ETAP 19.01 dijalankan kemudian akan tampil kotak dialog sesuai Gambar 3.... :



Gambar 3. 3 Kotak Dialog Pertama

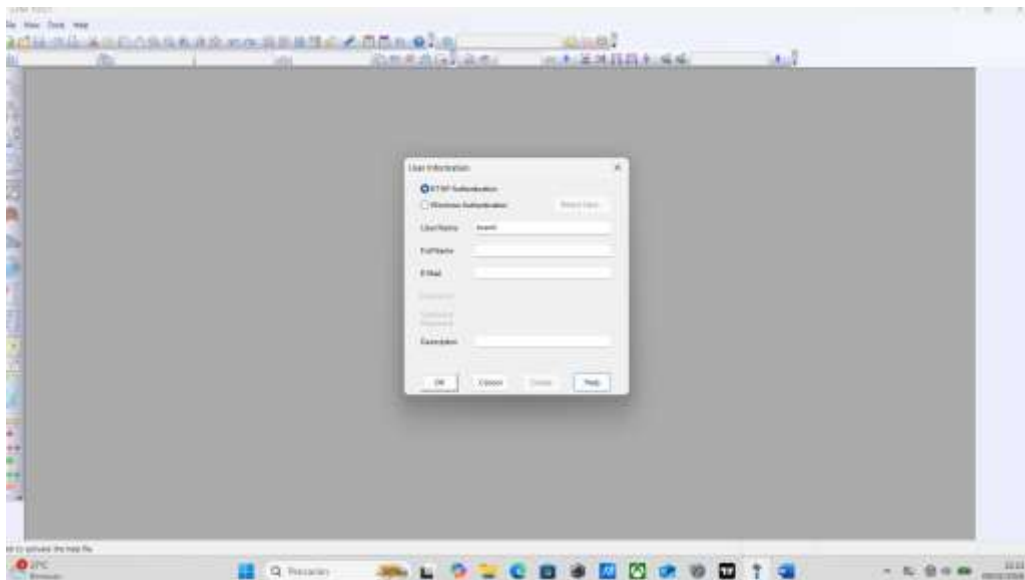
2. Membuat Studi Kasus

Klik File pilih New Project akan muncul kotak dialog seperti pada gambar 3.4 :



Gambar 3. 4 New Project

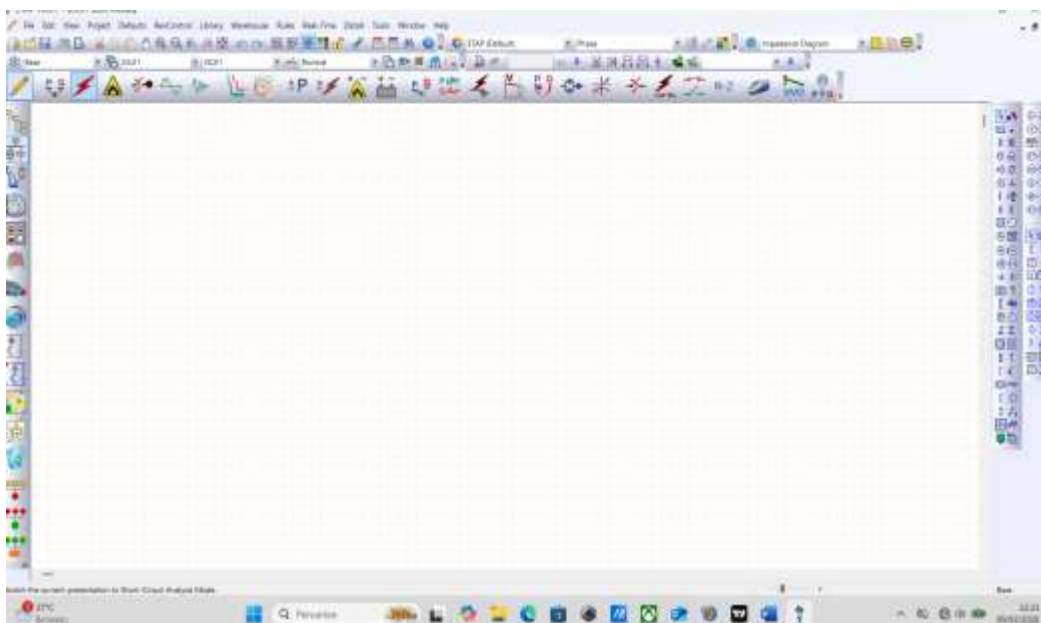
Setelah itu tulis Name Project, dan pilih unit system dan required password sesuai dengan kebutuhan. Kemudian klik OK, dan akan muncul kotak dialog seperti Gambar 3.5 :



Gambar 3. 5 Tampilan user information ETAP 19.01

Gambar 3.5 Tampilan user information ETAP 19.01

Masukkan User Name, Full Name kemudian klik OK maka akan muncul kotak dialog seperti gambar 3.6 :



Gambar 3. 6 Tampilan utama ETAP 19.01

3. Membuat Diagram Satu GARIS

Untuk membuat diagram satu garis digunakan *template* kosong dengan

menggunakan *tools* yang ada pada sebelah kanan *tempalte*.

4. Memasukkan Data Studi Kasus

a. Nama Busbar

Untuk mengidentifikasi bus yang terinterkoneksi

b. Tipe Busbar

1) Bus Referensi/Slack/Swing Bus

Dalam penelitian ini, bus referensi adalah gardu induk

2) Bus Beban

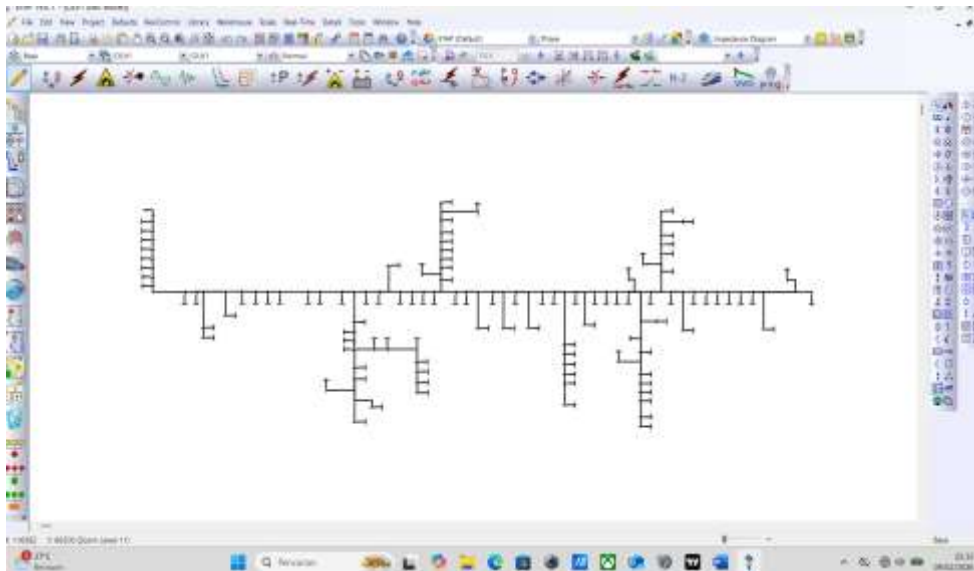
Bus beban, data yang dimasukkan adalah daya semu, yakni beban yang tersambung pada bus beban

c. Data Saluran Distribusi 20 kV

Pada saluran distribusi, data yang harus dimasukkan adalah panjang saluran, konfigurasi saluran dan data trafo.

d. Data Transformator

Data yang perlu dimasukkan pada kotak dialog transformator adalah rating daya trafo, impedansi trafo. Setelah semua data dimasukkan, diagram satu garis akan terlihat seperti gambar 3.7



Gambar 3. 7 Diagram satu garis penyulang YB3

Dengan melakukan langkah-langkah tersebut losses dan jatuh tegangan bisa didapatkan dengan melakukan *load flow*. Adapun metode yang digunakan untuk

menurunkan losses dan jatuh tegangan pada penelitian ini yaitu dengan cara melakukan simulasi rekonfigurasi penghantar jaringan distribusi tegangan menengah.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pemodelan, simulasi, serta analisis aliran daya dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV PT PLN (Persero) ULP Kotanopan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.01. Data yang digunakan meliputi data jarak antar gardu, data beban pada masing-masing gardu distribusi, Single Line Diagram (SLD) jaringan, serta data luas penampang dan jenis penghantar. Hasil simulasi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui kondisi profil tegangan, aliran daya, serta besarnya rugi-rugi daya aktif pada jaringan distribusi.

4.1 Data Sistem

Data sistem pada penelitian ini diperoleh dari jaringan distribusi penyulang YB 3 yang disuplai dari Gardu Induk Gardu Induk Saba Purba. Penyulang YB 3 merupakan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV yang menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju gardu-gardu distribusi dan selanjutnya ke pelanggan tegangan rendah. Data sistem ini digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis teknis, khususnya yang berkaitan dengan pembebanan, jatuh tegangan, serta evaluasi kinerja jaringan distribusi.

Berdasarkan data yang diperoleh, jumlah transformator distribusi yang terpasang pada penyulang YB 3 sebanyak 104 unit dengan variasi kapasitas 16 kVA, 25 kVA, 50 kVA, 100 kVA, dan 160 kVA. Variasi kapasitas transformator tersebut menunjukkan adanya perbedaan tingkat kebutuhan daya pada masing-masing wilayah pelayanan. Kapasitas transformator yang berbeda-beda ini berpengaruh terhadap tingkat pembebanan gardu serta distribusi beban pada sepanjang penyulang.

Penghantar yang digunakan pada jaringan penyulang YB 3 terdiri dari beberapa ukuran penampang, yaitu 35 mm², 70 mm², dan 150 mm². Perbedaan ukuran penghantar ini disesuaikan dengan besar arus yang mengalir dan jarak penyaluran daya, sehingga dapat menjaga batas jatuh tegangan tetap dalam standar yang diizinkan. Selain itu, panjang saluran atau panjang kabel antar

transformator juga menjadi parameter penting dalam penelitian ini, karena semakin panjang saluran maka nilai impedansi akan semakin besar dan berpotensi meningkatkan rugi-rugi daya serta penurunan tegangan pada sisi ujung jaringan.

Data beban per gardu yang diperoleh digunakan untuk mengetahui besarnya daya yang terpakai pada masing-masing transformator distribusi. Data ini mencerminkan kondisi pembebanan aktual pada sistem dan menjadi dasar dalam menghitung total beban penyulang, persentase pembebanan transformator, serta analisis keseimbangan sistem. Dengan tersedianya data panjang saluran, ukuran penghantar, kapasitas transformator, dan beban per gardu, maka analisis teknis terhadap kinerja penyulang YB 3 dapat dilakukan secara komprehensif dan terukur.

Tabel 4. 1 Data Sistem

No	Kode Gardu	Arus		Jarak Saluran (km)	Resistansi (Ohm)
		LWBP	WBP		
1	KN02	82,33	102,00	0,350	0,138
2	KN03	102,67	149,67	0,460	0,138
3	KN04	50,00	82,67	1,322	0,292
4	KN05	27,33	39,67	0,210	0,292
5	KN12	19,67	38,00	0,233	0,292
6	KN13	38,00	59,33	0,220	0,138
7	KN18	17,00	24,33	0,208	0,138
8	KN19	5,33	8,33	0,210	0,292
9	KN29	6,33	12,00	5,720	0,138
10	KN31	29,33	43,33	0,635	0,138
11	KN33	3,67	5,67	4,010	0,292
12	KN34	2,67	4,00	2,602	0,524
13	KN35	1,33	3,33	3,226	0,524
14	KN39	4,00	8,67	1,833	0,524
15	KN40	5,67	6,67	1,520	0,524
16	KN41	24,33	38,67	1,600	0,138
17	KN43	32,33	58,67	0,534	0,138
18	KN44	30,00	53,67	3,110	0,138
19	KN46	68,00	56,33	0,452	0,138
20	KN47	5,33	13,67	0,320	0,292
21	KN48	11,67	20,67	0,522	0,292

22	KN51	12,33	20,00	2,033	0,292
23	KN52	8,00	15,00	0,720	0,292
24	KN55	0,57	0,90	0,621	0,292
25	KN56	2,87	5,67	0,323	0,292
26	KN57	5,53	9,03	0,354	0,292
27	KN58	29,00	37,67	0,793	0,138
28	KN59	17,33	30,67	0,530	0,138
29	KN60	17,67	26,67	0,526	0,138
30	KN64	15,00	23,33	0,542	0,292
31	KN65	9,00	15,67	0,537	0,292
32	KN66	19,50	41,10	0,580	0,292
33	KN70	6,33	9,00	0,423	0,292
34	KN71	7,33	9,33	0,683	0,292
35	KN73	2,67	6,33	1,304	0,292
36	KN75	26,33	36,67	0,216	0,292
37	KN76	27,67	40,00	0,465	0,292
38	KN77	25,33	31,33	0,303	0,292
39	KN80	25,33	46,00	1,835	0,138
40	KN82	10,00	14,67	1,760	0,138
41	KN83	6,67	9,00	0,533	0,138
42	KN84	14,00	22,33	0,450	0,292
43	LR01	33,00	51,67	0,421	0,138
44	LR02	24,00	38,33	1,326	0,138
45	LR03	21,33	40,67	1,611	0,138
46	LR04	10,33	30,00	0,420	0,138
47	LR05	7,33	12,33	0,375	0,292
48	LR06	6,67	9,33	0,321	0,292
49	LR07	16,33	31,33	0,362	0,138
50	LR08	26,33	48,00	0,335	0,292
51	LR09	9,67	22,00	2,618	0,292
52	LR10	13,33	18,00	3,981	0,292
53	LR11	11,33	25,67	0,485	0,292
54	LR12	7,67	12,67	0,357	0,292
55	LR13	3,00	8,67	0,368	0,524
56	LR14	11,00	22,00	2,275	0,524
57	LR15	12,33	33,67	0,250	0,292
58	LR16	25,67	48,00	0,435	0,292
59	LR17	4,33	9,00	1,668	0,292
60	LR18	9,33	24,67	2,776	0,524
61	LR19	20,00	25,33	0,520	0,138
62	LR20	20,33	28,00	0,345	0,292
63	LR21	18,00	25,67	1,392	0,138
64	MG01	42,90	58,83	0,306	0,138
65	MG02	32,67	66,80	0,850	0,138

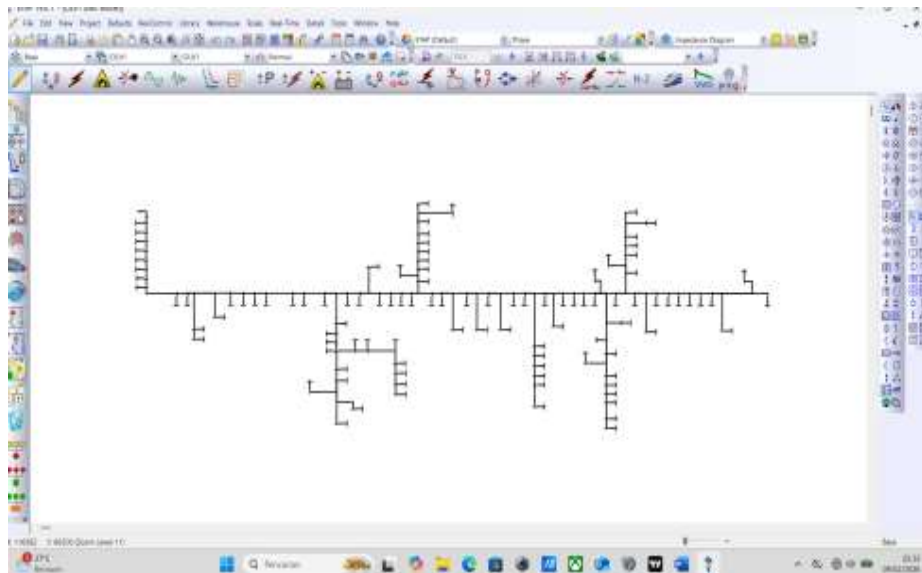
66	MG03	6,50	16,47	2,201	0,138
67	MG04	33,73	81,57	0,510	0,138
68	MG05	10,97	17,10	2,252	0,138
69	MG06	7,70	23,37	3,305	0,292
70	MG07	7,37	13,67	2,359	0,292
71	MG08	15,13	32,87	1,730	0,292
72	MG09	17,20	23,67	1,206	0,292
73	MG10	16,00	21,37	0,450	0,292
74	MG11	8,33	13,33	0,550	0,138
75	MG12	19,43	49,07	0,042	0,524
76	MG13	13,73	30,77	0,965	0,292
77	MG14	12,07	19,10	0,230	0,292
78	MG15	10,10	18,37	3,402	0,292
79	MG17	5,07	7,33	2,564	0,138
80	MG18	4,00	4,67	0,320	0,138
81	MG19	87,00	104,67	0,664	0,138
82	MG20	59,67	142,00	0,305	0,138
83	MG21	48,33	70,00	2,102	0,138
84	MG22	13,53	27,17	3,030	0,292
85	MG23	8,53	15,53	9,653	0,292
86	MG24	24,40	31,90	0,171	0,138
87	MG25	40,67	66,00	0,220	0,138
88	MG27	13,00	19,33	6,797	0,138
89	MG28	19,57	28,17	0,561	0,138
90	MG29	2,83	6,53	0,355	0,292
91	MG30	12,30	28,83	3,105	0,138
92	MG31	7,93	15,83	3,533	0,138
93	MG32	7,67	18,33	3,300	0,292
94	MG33	25,33	37,33	0,356	0,138
95	MG35	9,93	20,40	0,401	0,292
96	MG36	21,33	22,00	0,236	0,138
97	MG39	81,33	58,67	0,529	0,138
98	MG40	70,33	52,03	0,570	0,138
99	MG43	4,47	7,47	0,357	0,292
100	MG45	23,33	61,33	0,119	0,138
101	MG47	11,47	20,67	0,532	0,292
102	MG48	17,93	38,33	0,165	0,292
103	MG49	12,07	15,97	0,235	0,138
104	MG50	18,83	28,53	0,136	0,138

Dari tabel 4.1 nantinya akan digunakan untuk mencari Losses daya pada jaringan distribusi, seperti nilai arus, panjang saluran, dan nilai dari resistansi kawat penghantar.

4.2 Gambar Sistem Tenaga

Gambar sistem tenaga pada penelitian ini ditampilkan dalam bentuk Single Line Diagram (SLD) yang menggambarkan konfigurasi jaringan distribusi pada wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Kotanopan. Single Line Diagram tersebut menunjukkan hubungan antara sumber tenaga listrik dari gardu induk, penyulang (feeder), transformator distribusi, hingga ke pelanggan tegangan rendah. Diagram ini digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai struktur dan alur penyaluran energi listrik pada sistem yang diteliti.

Berdasarkan SLD yang diperoleh, sistem distribusi yang digunakan merupakan sistem tegangan menengah 20 kV yang disalurkan melalui penyulang utama dan beberapa percabangan menuju gardu distribusi. Pada setiap gardu distribusi terpasang transformator distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 V sebelum disalurkan ke pelanggan.



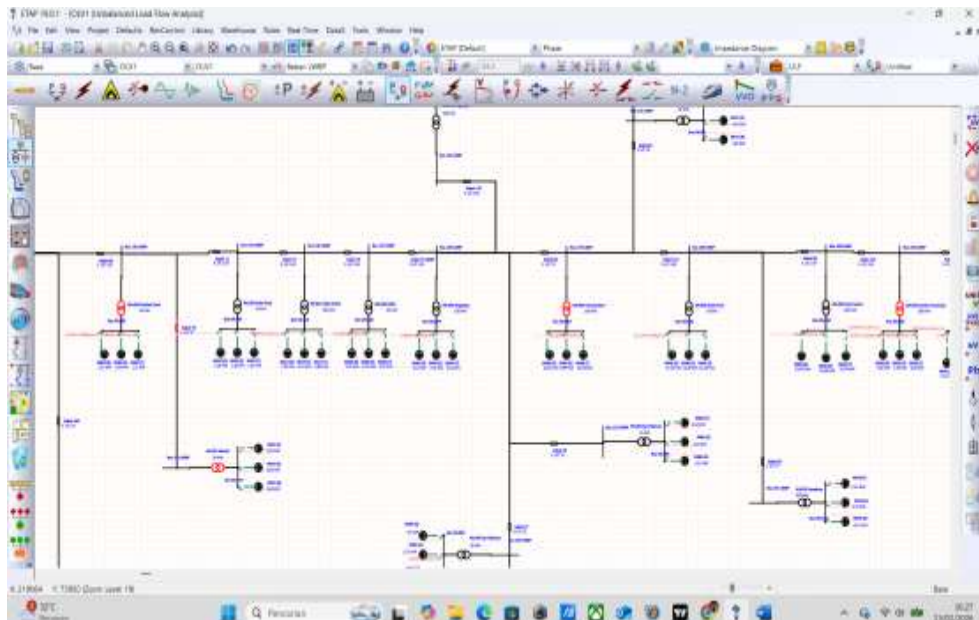
Gambar 4. 1 Single Line Diagram YB 3

Penyulang YB 3 merupakan jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV yang disuplai dari Gardu Induk Gardu Induk Saba Purba. Sistem ini menggunakan konfigurasi radial dengan 104 gardu

distribusi yang dilayani oleh transformator berkapasitas 16 kVA hingga 160 kVA, disesuaikan dengan kebutuhan beban masing-masing gardu. Penghantar yang digunakan memiliki ukuran 35 mm², 70 mm², dan 150 mm², sementara panjang saluran antar transformator menjadi pertimbangan penting dalam analisis teknis untuk menghitung jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Data beban per gardu digunakan untuk mengetahui kondisi pembebanan aktual dan evaluasi pemanfaatan kapasitas transformator, sehingga seluruh sistem distribusi dapat dianalisis secara efisien dan terstruktur.

4.3 Simulasi dan Perhitungan Aliran Daya

Berdasarkan data-data sistem yang dilakukan pada simulasi dengan menjalankan Unbalance Load Flow pada program ETAP 19.01 yang terdapat pada gambar 4.1 di bawah ini dan Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 :



Gambar 4. 2 Simulasi Unbalance Load Flow

4.3.1 Hasil Losses Menggunakan ETAP 19.01

CKT / Branch		From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		V _i	Amper-
ID	Phase	MW	MVA	MW	MVA	kW	Var	From	To	% Drop	in Busbar
MK029 sup M Dstok	A	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.1	0.1	00.2	00.1	0.1	D
	B	0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.1	0.1	00.1	00.2	0.1	D
	C	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.0	0.1	00.2	00.2	0.0	D
MK010 Sup P11ta Lant	A	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.1	0.1	00.1	00.0	0.0	D
	B	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.1	0.1	00.1	00.7	0.1	D
	C	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.1	0.1	00.1	00.7	0.1	D
MK011 sup 2 Pa Maja	A	0.002	0.001	-0.002	-0.001	-0.2	0.1	00.1	00.0	0.1	D
	B	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.1	00.1	00.1	0.2	D
	C	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.2	0.0	00.1	00.1	0.1	D
MK012 Sup Hantel	A	0.002	0.001	-0.002	-0.001	-0.2	0.1	00.2	00.0	0.1	D
	B	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.1	00.1	00.0	0.1	D
	C	0.002	0.001	-0.002	-0.001	-0.1	0.1	00.2	00.0	0.1	D
MK013 Pasokan Panti	A	0.006	0.002	-0.006	-0.002	0.1	0.1	00.0	00.0	0.0	D
	B	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.7	0.1	00.7	00.0	0.0	D
	C	0.003	0.002	-0.003	-0.002	0.6	0.0	00.0	00.0	0.0	D
MK015 Sup Ika	A	0.002	0.001	-0.002	-0.001	-0.1	0.1	00.1	00.0	0.1	D
	B	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.1	0.1	00.1	00.0	0.1	D

Gambar 4. 3 Hasil Simulasi Losses pada ETAP

Didapatkan total losses pada penyulang YB3 adalah 38,26 kW dari daya awal yang disuplai oleh gardu induk. Dari hasil simulasi pada software ETAP 19.01 didapatkan data losses perangkat dan data losses saluran seperti pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Hasil simulasi gardu pada penyulang YB3

No	Kode Gardu	Kspasitas Trafo	Losses		Jatuh Tegangan LWBP (%)	Jatuh Tegangan WBP (%)
			LWP (kW)	WBP (kW)		
1.	KN02	100	0,65	0,99	1,24	1,55
2.	KN03	160	0,64	1,35	0,96	1,42
3.	KN04	100	0,28	0,68	0,75	1,25
4.	KN05	50	0,19	0,35	0,82	1,20
5.	KN12	50	0,13	0,32	0,59	1,15
6.	KN13	100	0,19	0,38	0,57	0,90
7.	KN18	25	0,16	0,27	1,02	1,48
8.	KN19	16	0,08	0,12	0,53	0,88
9.	KN29	16	0,08	0,14	0,59	1,14
10.	KN31	50	0,21	0,39	0,88	1,31

11.	KN33	16	0,08	0,11	0,38	0,62
12.	KN34	16	0,07	0,09	0,32	0,50
13.	KN35	16	0,06	0,08	0,19	0,44
14.	KN39	16	0,07	0,12	0,41	0,91
15.	KN40	25	0,07	0,07	0,34	0,41
16.	KN41	50	0,16	0,32	0,73	1,17
17.	KN43	50	0,24	0,68	0,97	1,79
18.	KN44	100	0,14	0,31	0,45	0,81
19.	KN46	50	0,87	0,63	2,05	1,71
20.	KN47	16	0,08	0,21	0,53	1,33
21.	KN48	50	0,09	0,14	0,35	0,63
22.	KN51	25	0,11	0,20	0,74	1,21
23.	KN52	25	0,08	0,14	0,48	0,91
24.	KN55	25	0,06	0,06	0,05	0,11
25.	KN56	25	0,06	0,07	0,18	0,35
26.	KN57	25	0,07	0,09	0,33	0,55
27.	KN58	100	0,14	0,19	0,44	0,57
28.	KN59	50	0,11	0,22	0,52	0,93
29.	KN60	50	0,11	0,19	0,53	0,81
30.	KN64	50	0,10	0,15	0,45	0,70
31.	KN65	50	0,08	0,11	0,27	0,47
32.	KN66	50	0,12	0,36	0,59	1,25
33.	KN70	50	0,07	0,08	0,19	0,26
34.	KN71	50	0,07	0,07	0,22	0,28
35.	KN73	50	0,06	0,07	0,10	0,24
36.	KN75	100	0,12	0,18	0,40	0,55
37.	KN76	100	0,13	0,20	0,42	0,61
38.	KN77	50	0,17	0,23	0,76	0,95
39.	KN80	100	0,12	0,25	0,38	0,69
40.	KN82	50	0,08	0,10	0,30	0,44
41.	KN83	25	0,08	0,09	0,40	0,55
42.	KN84	50	0,09	0,15	0,42	0,68
43.	LR01	50	0,25	0,54	0,99	1,56
44.	LR02	25	0,27	0,64	1,44	2,33
45.	LR03	50	0,14	0,35	0,64	1,23
46.	LR04	50	0,11	0,43	0,68	1,96
47.	LR05	25	0,08	0,12	0,44	0,75
48.	LR06	25	0,08	0,09	0,40	0,57
49.	LR07	25	0,16	0,42	0,98	1,90
50.	LR08	50	0,20	0,59	0,79	1,46
51.	LR09	25	0,11	0,33	0,60	1,36
52.	LR10	50	0,09	0,12	0,40	0,54
53.	LR11	50	0,08	0,18	0,34	0,77
54.	LR12	25	0,08	0,12	0,46	0,76

55.	LR13	16	0,03	0,11	0,66	1,81
56.	LR14	25	0,13	0,34	0,68	1,36
57.	LR15	25	0,12	0,49	0,74	2,05
58.	LR16	50	0,17	0,46	0,77	1,45
59.	LR17	25	0,04	0,05	0,20	0,46
60.	LR18	25	0,11	0,39	0,58	1,52
61.	LR19	50	0,13	0,17	0,60	0,76
62.	LR20	50	0,13	0,20	0,61	0,84
63.	LR21	25	0,17	0,29	1,08	1,55
64.	MG01	100	0,22	0,36	0,64	0,88
65.	MG02	100	0,15	0,45	0,49	1,00
66.	MG03	50	0,07	0,11	0,20	0,49
67.	MG04	100	0,16	0,63	0,50	1,22
68.	MG05	16	0,13	0,22	1,02	1,60
69.	MG06	25	0,08	0,25	0,46	1,41
70.	MG07	50	0,07	0,09	0,22	0,41
71.	MG08	50	0,10	0,25	0,45	0,99
72.	MG09	25	0,21	0,36	1,05	1,50
73.	MG10	50	0,10	0,14	0,48	0,64
74.	MG11	50	0,07	0,09	0,25	0,40
75.	MG12	50	0,12	0,48	0,58	1,48
76.	MG13	50	0,09	0,22	0,41	0,93
77.	MG14	25	0,13	0,25	0,72	1,17
78.	MG15	25	0,11	0,22	0,61	1,12
79.	MG17	25	0,07	0,08	0,31	0,44
80.	MG18	25	0,07	0,07	0,24	0,28
81.	MG19	25	2,74	4,03	5,31	6,45
82.	MG20	100	0,38	0,55	0,88	1,12
83.	MG21	160	0,32	0,46	0,45	0,65
84.	MG22	25	0,12	0,32	0,81	1,64
85.	MG23	16	0,11	0,24	0,80	1,47
86.	MG24	50	0,17	0,24	0,76	0,96
87.	MG25	25	0,63	1,60	2,43	3,99
88.	MG27	50	0,09	0,12	0,39	0,58
89.	MG28	100	0,09	0,13	0,29	0,42
90.	MG29	50	0,06	0,07	0,09	0,20
91.	MG30	50	0,09	0,20	0,37	0,86
92.	MG31	50	0,07	0,10	0,24	0,48
93.	MG32	50	0,07	0,12	0,23	0,55
94.	MG33	50	0,17	0,30	0,75	1,11
95.	MG35	50	0,08	0,13	0,30	0,61
96.	MG36	50	0,14	0,14	0,63	0,65
97.	MG39	200	0,34	0,21	0,60	0,44
98.	MG40	200	0,27	0,18	0,52	0,39

99.	MG43	50	0,06	0,07	0,14	0,23
100.	MG45	50	0,15	0,19	0,69	0,83
101.	MG47	50	0,08	0,13	0,34	0,62
102.	MG48	50	0,12	0,31	0,54	1,15
103.	MG49	25	0,11	0,15	0,72	0,96
104.	MG50	50	0,12	0,20	0,56	0,85
TOTAL			78,3	127,3		

Berdasarkan Tabel 4.9, total losses pada penyulang YB3 LWBP dan WBP menggunakan Simulasi ETAP 19.0.1 adalah :

Losses daya aktif LWBP (kW) = 78,3 kW

Losses daya aktif WBP (kW) = 127,3 kW

4.3.2 Perhitungan Losses pada saluran di Penyulang YB 3

Perhitungan matematis dilakukan untuk menentukan besar losses yang dihasilkan pada saluran di penyulang YB3 secara matematis, dengan menggunakan rumus dan penjumlahan losses pada setiap gardu. Setelah didapatkan, maka hasil dari perhitungan akan dibandingkan dengan besar Losses pada ETAP 19.0.1.

Perhitungan losses pada saluran di Penyulang YB3 menggunakan rumus daya yang merupakan perkalian fasa, arus, resistansi kabel, serta panjang kabel yang datanya diambil dari simulasi ETAP 19.0.1 dan ULP Kotanopan.

Susut energi merupakan kerugian yang terjadi sebagai akibat adanya selisih antara energi yang dikirim dengan energi yang diterima atau juga dikatakan dari sisi transfer energi sebagai adanya selisih antara energi yang disalurkan ke pelanggan dengan total energi yang dibayarkan pelanggan. Susut daya dapat dicari dengan persamaan (2.8):

$$(P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L\#)$$

Dimana :

P = Rugi-rugi daya pada jaringan (W)

- I = Arus beban jaringan (A)
 R = Tahanan penghantar (Ω)
 L = Panjang penghantar (kms)

Berikut merupakan contoh perhitungan Losses daya pada saluran distribusi penyulang YB3:

1. Trafo distribusi KN.002 Pasendeng :

$$I = 82,33 A$$

$$R = 0,138 \Omega$$

$$L = 0,570 \text{ kms}$$

- $P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L$
 $= 3 \times (82,33)^2 \times 0,138 \times 0,570$
 $= 1600 W$
 $= 1,6 kW$

2. Trafo Distribusi KN. 004 Tarandam

$$I = 50,00 A$$

$$R = 0,292 \Omega$$

$$L = 0,171 \text{ kms}$$

- $P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L$
 $= 3 \times (50,00)^2 \times 0,292 \times 0,171$
 $= 374 W$
 $= 0,374 kW$

Pada tabel di bawah ini menunjukkan losses daya pada penyulang YB3 dengan menggunakan rumus yang sama pada contoh di atas.

No.	Kode Gardu	Kapasitas Trafo	Losses	
			LWBP (kW)	WBP (kW)
1	KN02	100	1,60	2,46
2	KN03	160	1,03	2,19
3	KN04	100	0,37	1,02
4	KN05	50	0,15	0,32
5	KN12	50	0,12	0,45

6	KN13	100	0,72	1,76
7	KN18	25	0,01	0,03
8	KN19	16	0,08	0,21
9	KN29	16	0,03	0,10
10	KN31	50	0,08	0,18
11	KN33	16	0,00	0,01
12	KN34	16	0,02	0,05
13	KN35	16	0,03	0,17
14	KN39	16	0,06	0,30
15	KN40	25	0,15	0,21
16	KN41	50	0,13	0,33
17	KN43	50	0,15	0,51
18	KN44	100	0,20	0,66
19	KN46	50	0,68	0,47
20	KN47	16	0,17	1,11
21	KN48	50	0,04	0,12
22	KN51	25	0,07	0,20
23	KN52	25	0,05	0,17
24	KN55	25	0,00	0,00
25	KN56	25	0,02	0,09
26	KN57	25	0,09	0,25
27	KN58	100	0,18	0,31
28	KN59	50	0,02	0,05
29	KN60	50	0,06	0,13
30	KN64	50	0,07	0,18
31	KN65	50	0,10	0,30
32	KN66	50	0,22	0,98
33	KN70	50	0,08	0,16
34	KN71	50	0,01	0,02
35	KN73	50	0,01	0,08

36	KN75	100	0,03	0,05
37	KN76	100	0,27	0,56
38	KN77	50	0,09	0,14
39	KN80	100	0,07	0,22
40	KN82	50	0,02	0,05
41	KN83	25	0,06	0,11
42	KN84	50	0,17	0,42
43	LR01	50	0,17	0,41
44	LR02	25	0,11	0,27
45	LR03	50	0,31	1,14
46	LR04	50	0,02	0,13
47	LR05	25	0,01	0,04
48	LR06	25	0,02	0,04
49	LR07	25	0,05	0,17
50	LR08	50	0,19	0,65
51	LR09	25	0,03	0,14
52	LR10	50	0,08	0,14
53	LR11	50	0,05	0,25
54	LR12	25	0,07	0,19
55	LR13	16	0,03	0,27
56	LR14	25	0,53	2,11
57	LR15	25	0,21	1,60
58	LR16	50	1,51	5,28
59	LR17	25	0,07	0,28
60	LR18	25	0,31	2,15
61	LR19	50	0,07	0,11
62	LR20	50	0,13	0,25
63	LR21	25	0,05	0,10
64	MG01	100	0,35	0,67
65	MG02	100	0,13	0,56

66	MG03	50	0,03	0,18
67	MG04	100	0,86	5,05
68	MG05	16	0,03	0,08
69	MG06	25	0,10	0,88
70	MG07	50	0,03	0,12
71	MG08	50	0,12	0,59
72	MG09	25	0,11	0,21
73	MG10	50	0,29	0,52
74	MG11	50	0,01	0,03
75	MG12	50	0,47	3,00
76	MG13	50	0,09	0,44
77	MG14	25	0,41	1,03
78	MG15	25	0,05	0,16
79	MG17	25	0,00	0,01
80	MG18	25	0,00	0,00
81	MG19	25	0,65	0,94
82	MG20	100	0,31	1,75
83	MG21	160	1,28	2,68
84	MG22	25	0,06	0,23
85	MG23	16	0,03	0,11
86	MG24	50	0,08	0,13
87	MG25	25	0,16	0,42
88	MG27	50	0,12	0,27
89	MG28	100	0,08	0,18
90	MG29	50	0,01	0,08
91	MG30	50	0,36	1,97
92	MG31	50	0,01	0,05
93	MG32	50	0,02	0,10
94	MG33	50	0,06	0,12
95	MG35	50	0,05	0,19

96	MG36	50	0,04	0,04
97	MG39	200	10,98	5,71
98	MG40	200	5,33	2,92
99	MG43	50	0,01	0,03
100	MG45	50	0,10	0,72
101	MG47	50	0,08	0,26
102	MG48	50	0,06	0,28
103	MG49	25	0,19	0,33
104	MG50	50	0,22	0,51
Total Losses			34,97 kW	66,39 kW

Berdasarkan Tabel 4.9, total losses pada penyulang YB3 LWBP dan WBP menggunakan Rumus Losses Daya pada Saluran adalah :

Losses daya aktif LWBP (kW) = 34,97 kW

Losses daya aktif WBP (kW) = 66,39 kW

4.4 Analisa Aliran Daya

Analisis aliran daya dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu melalui simulasi perangkat lunak dan melalui perhitungan analitis menggunakan rumus. Parameter utama yang dibandingkan adalah rugi-rugi daya (power losses) pada periode Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa rugi-rugi daya pada kondisi LWBP sebesar **78,3 kW**, sedangkan pada kondisi WBP sebesar **127,3 kW**. Nilai ini mencerminkan kondisi sistem yang dianalisis secara komprehensif dengan mempertimbangkan parameter jaringan secara menyeluruh, termasuk impedansi saluran, pembebanan aktual, serta interaksi antar komponen sistem tenaga listrik.

Sementara itu, perhitungan menggunakan rumus menghasilkan rugi-rugi daya sebesar **34,97 kW** pada LWBP dan **66,39 kW** pada WBP.

Metode perhitungan ini umumnya didasarkan pada pendekatan matematis yang lebih sederhana dan menggunakan asumsi kondisi ideal pada sistem, sehingga tidak seluruh fenomena operasional sistem tenaga dapat terakomodasi secara detail.

Apabila dilakukan perbandingan antara kedua metode, terlihat bahwa hasil simulasi memberikan nilai rugi-rugi daya yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan analitis. Pada kondisi LWBP, selisih rugi-rugi daya antara simulasi dan perhitungan adalah sebesar **43,33 kW**, sedangkan pada kondisi WBP selisihnya mencapai **60,91 kW**. Secara persentase, hasil perhitungan analitis hanya merepresentasikan sekitar **44,7%** dari hasil simulasi pada LWBP dan sekitar **52,2%** pada WBP.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa pendekatan simulasi mampu menggambarkan kondisi sistem tenaga listrik secara lebih realistis dibandingkan pendekatan rumus. Hal tersebut disebabkan oleh kemampuan simulasi dalam mempertimbangkan faktor non-ideal seperti variasi impedansi, rugi-rugi transformator, ketidakseimbangan beban, serta kondisi operasi aktual jaringan. Sebaliknya, metode perhitungan manual cenderung memberikan estimasi teoritis yang lebih sederhana sehingga nilai rugi-rugi daya yang diperoleh lebih kecil.

Dengan demikian, hasil simulasi dapat digunakan sebagai representasi kondisi sistem yang lebih mendekati keadaan sebenarnya, sedangkan perhitungan analitis berfungsi sebagai pembanding teoritis untuk memverifikasi kecenderungan hasil analisis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 dan perhitungan manual yang telah dilakukan pada sub-bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Beban Terhadap Rugi-Rugi Daya terdapat korelasi positif antara besarnya beban dengan rugi-rugi daya (*power losses*) pada sistem. Pada kondisi Waktu Beban Puncak (WBP), rugi-rugi daya mengalami kenaikan signifikan sebesar 62,58% (berdasarkan simulasi ETAP) dibandingkan pada kondisi Luar Waktu Beban Puncak (LWBP). Hal ini membuktikan bahwa peningkatan arus beban (*I*) menyebabkan rugi-rugi teknis meningkat secara kuadratik mengikuti hukum $P_{loss} = I^2 \cdot R$
2. Akurasi Metode Analisis, Hasil simulasi ETAP 19.0.1 memberikan nilai rugi-rugi daya yang lebih besar (78,3 kW pada LWBP dan 127,3 kW pada WBP) dibandingkan dengan perhitungan manual (34,97 kW dan 66,39 kW). Perbedaan ini menghasilkan rata-rata deviasi sebesar 51,53%. Deviasi ini menunjukkan bahwa simulasi ETAP lebih komprehensif dalam memperhitungkan variabel teknis seperti jatuh tegangan di setiap *bus*, pengaruh suhu terhadap resistansi penghantar, serta ketidakseimbangan beban yang seringkali terabaikan dalam perhitungan rumus manual sederhana.
3. Kondisi Operasional Sistem, Meskipun terdapat perbedaan magnitudo antara kedua metode, tren kenaikan *losses* menunjukkan pola yang konsisten. Hasil simulasi ETAP direkomendasikan sebagai acuan utama dalam perencanaan pengembangan sistem karena mampu merepresentasikan kondisi jaringan yang lebih mendekati keadaan riil di lapangan (*real-time operation*).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, maka saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan kinerja jaringan distribusi 20 kV PT PLN (Persero) ULP Kotanopan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan evaluasi dan penanganan pada gardu-gardu distribusi yang memiliki tegangan mendekati atau berada di bawah batas standar, khususnya gardu yang terletak di ujung feeder.
2. Perlu diperhatikan pembebanan pada trafo supaya tidak terjadi ketidakseimbangan beban yang mengakibatkan Losses daya dan mengakibatkan kerugian kepada PLN.
3. Penggunaan penghantar dengan luas penampang yang lebih besar pada ruas saluran tertentu dapat menjadi solusi untuk menurunkan nilai resistansi, sehingga rugi-rugi daya aktif dan penurunan tegangan dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

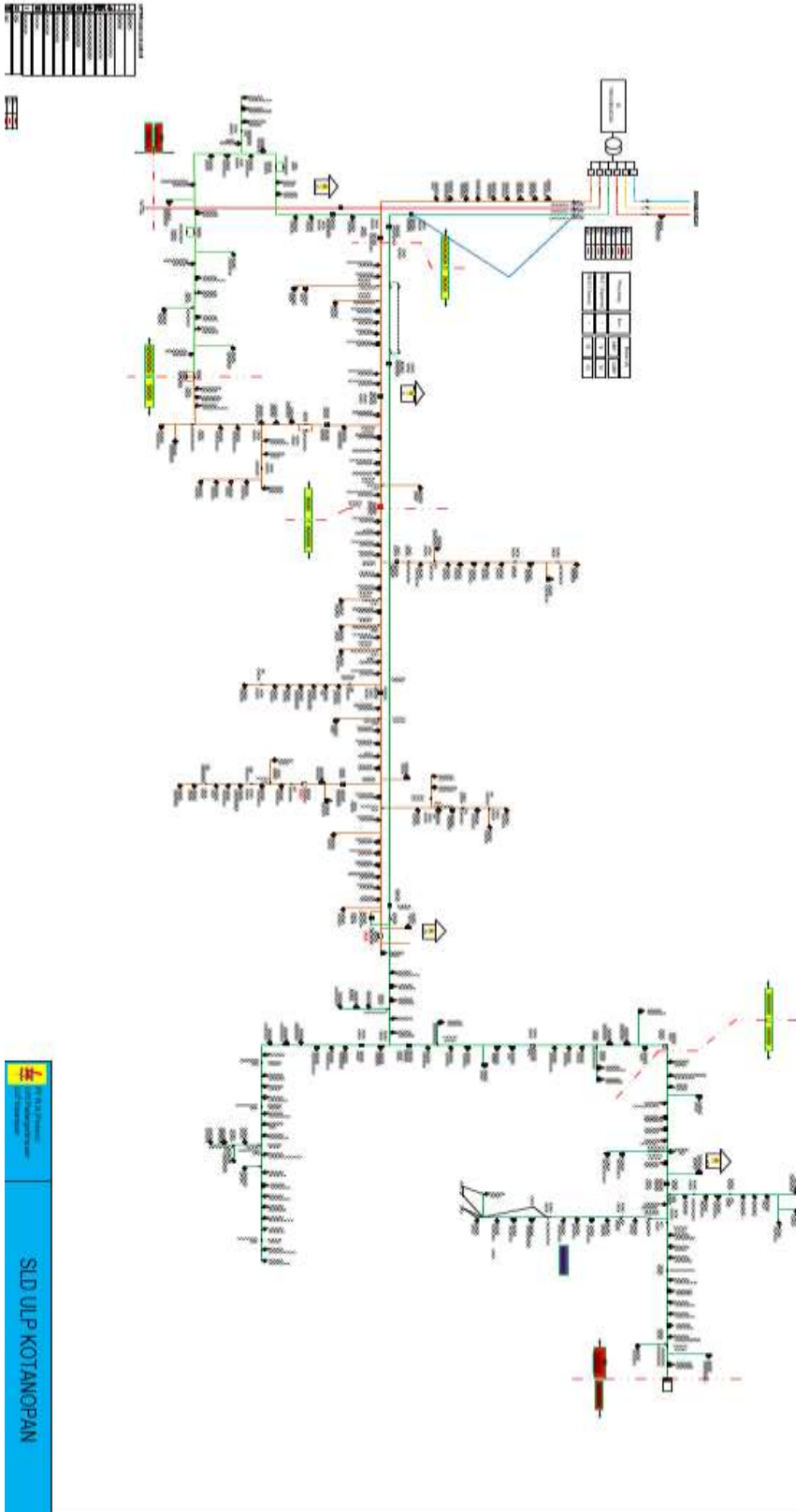
- Alif Khoirul, U. (2022). Analisis Aliran Daya Listrik Di Pt Cargill Semarang Bagian Gedung Produksi Menggunakan Simulasi Etap 12.6.0. Skripsi. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Semarang, 7-9.
- Azhari, A., & Rizal Azhari, M. (2017). Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Primer Penyulang Adhyaksa Makassar. *Universitas*.
- Badaruddin.(2012). “Pengaruh Keseluruhan Beban Terhadap Proyek Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Rusunawi Gading Icon”
- Josafat Mangundap., Sartje S., Hans T., (2018). “Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Manado 2017”. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 7 no.3: 219-225.
- Jurnal, R. T. (2015). Analisis Pengaruh Jenis Beban Listrik Terhadap Kinerja Pemutus Daya Listrik Di Gedung Cyber Jakarta: Jumadi, Juara Mangapul Tambunan. *Energi & Kelistrikan*, 7(2), 108-117.
- Kartika, I. (2017). Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif. *Jurnal Surya Energy*, 1(2), 100-111.
- Keputusan Direksi, P. T. (2005). PLN (Persero) tentang tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (kWh) No. 217-1. K/DIR.
- Lhokseumawe, P. N., & Pengantar, K. (2020). rahayu deny danar dan alvi furwanti Alwie, AB Prasetio, and R. Andespa, “Tugas Akhir Tugas Akhir,”. *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41-49.
- Mappabeta, A. (2021). Analisis Losses Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN ULP Panakkukang Penyulang Antang Menggunakan ETAP 16.0. 0 (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Mhd Arjuna S.K. (2023). Simulasi Aliran Daya Menggunakan Metode Newton Raphson Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara Berbasis Software ETAP 2019. UMSU, 12-15.
- PLN, P. (2010). Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. *PT. PLN (Persero), Jalan Trunajoyo Blok M-1/kebayoran lama, Jakarta Selatan*.
- PLN, P. (2010). Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. *Jakarta PT. PLN*.
- Prabowo, H. (2007). Study Aliran Daya di Wilayah Kerja PT PLN (Persero) UPT Semarang. *Skripsi. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang*.
- R. Permadi, (2022). “Analisis Aliran Daya Pada Jalur Kelistrikan Gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Menggunakan Software Etap 12.6,” North Sumatera, Oct. 2022.

- Rafli Sardi, (2023). Analisis Koordinasi Proteksi Gangguan Sistem Tenaga Listrik Pada Pt Domas Agointi Prima Menggunakan Software Etap 19.0.1. Umsu, 31-32.
- Sri Kurniati. A, Sudirman. S. (2022). “Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 Kv Pada Sistem Pln Kota Kupang”. *Jurnal Media Elektro* 5 No.2: 57-63.
- Suswanto, D. A. M. A. N. (2009). Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik. *Sist. Distrib. Tenaga List*, 137-180.

LAMPIRAN



SINGLE LINE DIAGRAM 20 KV



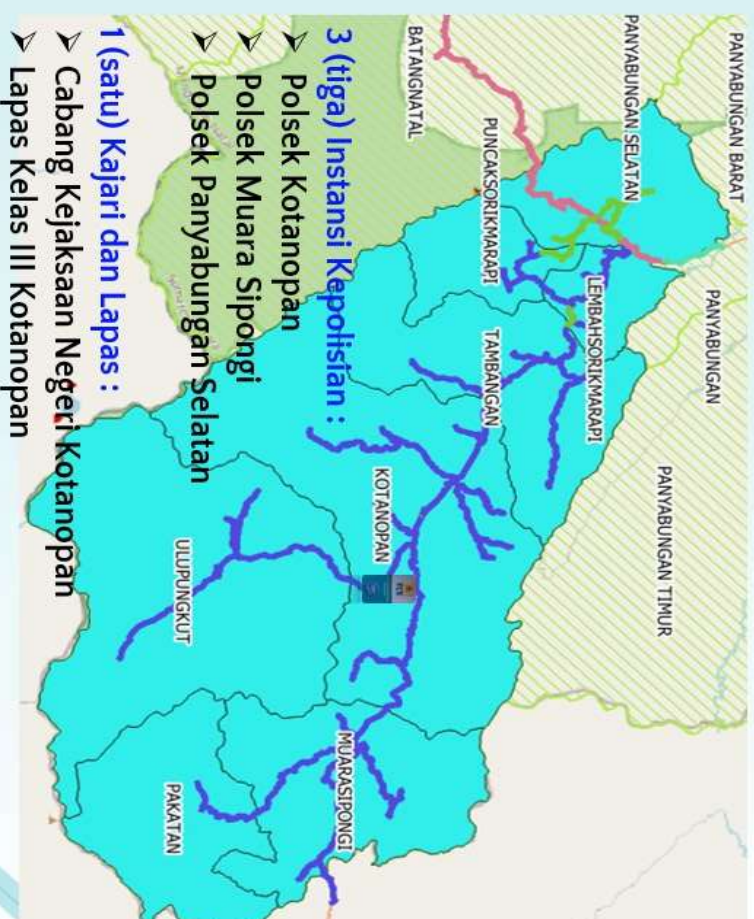
Wilayah Kerja PLN ULP Kotanopan meliputi daerah :

8 (delapan) Kecamatan :

- Kecamatan Kotanopan
- Kecamatan Lembah Sorik Marapi
- Kecamatan Muara Sipongi
- Kecamatan Pakatan
- Kecamatan Puncak Sorik Marapi
- Kecamatan Tambangan
- Kecamatan Ulu Pungkut
- Kecamatan Panyabungan Selatan

2 (dua) Instansi Militer :

- Koramil Kotanopan
- Koramil Muara Sipongi



3 (tiga) Instansi Kepolisian :

- Polsek Kotanopan
- Polsek Muara Sipongi
- Polsek Panyabungan Selatan

1 (satu) Kajari dan Lapas :

- Cabang Kejaksanaan Negeri Kotanopan
- Lapas Kelas III Kotanopan

PT PLN (Persero) ULP Kotanopan terdiri dari :

- 1 (satu) Kantor Unit Layanan Pelanggan, dan 2 (dua) Kantor Jaga dan 1 (satu) Pos Jaga :

- Kantor Jaga Maga
- Kantor Jaga Muara Sipongi
- Posko Kayu Laut

SUMBER DAYA MANUSIA

Terdiri dari 6 Pegawai Pria

KOMPOSISI TENAGA ALIH DAYA

Yantek	: 34 Orang
Mانبill	: 9 Orang
Yanbung	: 2 Orang
TOTAL	: 44 Orang

KOMPOSISI PLGN PER TARIF

Pelanggan Tarif S	: 728 Plgn
Pelanggan Tarif R	: 23.352 Plgn
Pelanggan Tarif B	: 374 Plgn
Pelanggan Tarif I	: 2 Plgn
Pelanggan Tarif P	: 140 Plgn
Pelanggan Tarif L	: 30 Plgn

DATA PELANGGAN

Pelanggan	: 24.629 Plgn
Paska Bayar	: 14.746 Plgn
Pra Bayar	: 9.883 Plgn
Daya Tersambung	: 19.705.027 VA
Energi Jual	: 1.930.497 Kwh
Rp Pendapatan	: 1.746.986.496

ASET DISTRIBUSI

JTM	: 266,86 Kms
JTR	: 144,13 Kms
Jumlah Trafo	: 240 Unit
Kapasitas Trafo	: 11.733 KVA



□ TUL III-09 Sept 2025



ETAP 19.0.1C

Project: **ETAP** Page: 14
 Location: 19.0.1C Date: 24-01-2026
 Contract: SS
 Engineer: Basu
 Study Case: ULF
 Revision: Basu
 Drawn: Basu LWSB

Ckt / Branch	ID	Phase	From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop	Angren to Bus Voltage
			MW	Mvar	MW	Mvar	LW	Iron	From	To		
SBO.020 sup M. Delok	A	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.1	0.1	98.2	98.1	0.1	0	
	B	0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.1	0.1	98.2	98.2	0.1	0	
	C	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.0	0.1	98.2	98.2	0.0	0	
SBO.021 sup PT.10a Loko	A	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.3	0.2	98.1	98.6	0.4	0	
	B	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.1	0.1	98.1	98.7	0.1	0	
	C	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.3	0.0	98.1	98.7	0.3	0	
SBO.021 sup 270a Mags	A	0.002	0.001	-0.002	-0.001	-0.2	0.1	98.3	98.0	0.3	0	
	B	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.1	98.3	98.1	0.2	0	
	C	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.2	0.0	98.3	98.1	0.2	0	
SBO.021 sup Busbar	A	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.2	0.0	98.2	98.0	0.2	0	
	B	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.0	0.1	98.3	98.0	0.3	0	
	C	0.002	0.001	-0.002	-0.001	-0.1	0.1	98.2	98.0	0.2	0	
SBO.021 Feeder Panel	A	0.006	0.002	-0.006	-0.002	0.3	0.1	98.8	98.9	0.8	0	
	B	0.000	0.001	-0.000	-0.001	-0.7	0.1	99.7	98.8	0.8	0	
	C	0.000	0.002	-0.000	-0.002	0.6	0.0	99.6	99.0	0.6	0	
SBO.021 sup Bus	A	0.003	0.001	-0.003	-0.001	-0.2	0.1	98.3	97.8	0.5	0	
	B	0.002	0.001	-0.002	-0.001	0.2	0.1	98.3	98.0	0.3	0	

Total Page No: 11 Zoom Factor: 100%

