

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Ketika menyalurkan tenaga listrik dari pusat produksi ke pelanggan (konsumen) diperlukan jaringan distribusi. Jaringan distribusi sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan karena jaringan distribusi berfungsi sebagai sistem distribusi atau pendistribusian energi listrik. Pada saat energi listrik disalurkan ke konsumen melalui jaringan distribusi, terjadi susut listrik pada pipa yang dapat mengurangi daya listrik ketika diubah menjadi panas. Susut daya pada jaringan distribusi listrik disebabkan oleh arus yang mengalir melalui penghantar atau saluran. Penyebab hilangnya daya adalah resistansi dari jenis kawat yang nilai resistansi atau resistansinya cukup tinggi. Untuk perluasan jaringan distribusi perlu dicapai tingkat efisiensi yang tinggi tanpa mengabaikan aspek ekonomi. Tingkat ketepatan yang bagus dicapai apabila susut energi bisa ditekan serendah mungkin. Penyusutan jaringan distribusi merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan, baik dalam perencanaan maupun pengoperasiannya, karena berdampak pada biaya investasi [1].

Menurut (APEI, 2003), pada umumnya susut listrik pada jaringan distribusi hanya sekitar 10%. Pada sistem distribusi Susut energi dihitung berdasarkan selisih antara energi yang terjual dengan energi yang diterima pada masing-masing jalur suplai. Mengacu pada pentingnya informasi besaran susut pada sistem distribusi yang digunakan dalam melakukan perencanaan perluasan jaringan, maka perlu dilakukan kajian susut energi pada sistem distribusi. Dengan pertumbuhan beban yang semakin besar dari tahun ke tahun di kota Padang, maka arus beban juga akan besar, ini adalah salah satu penyebab susut daya. Oleh sebab itu harus dicari berapa besar susut daya pada jaringan distribusi tegangan menengah penyulang GI Pauh Limo [2].

Pada uraian tersebut akan dicari berapa besar susut daya pada jaringan distribusi tegangan menengah penyulang GI Pauh Limo dan selanjutnya menganalisa berapa besar biaya listrik yang dirugikan akibat susut daya pada

jaringan distribusi tegangan menengah penyulang GI Pauh Limo. Dengan harapan dari analisa ini dapat menentukan biaya listrik yang harus ditanggung oleh PT.PLN (Persero) kota Padang. Dengan uraian tersebut, maka akan dibahas tentang “Studi Analisis Susut Daya Pada Jaringan Distribusi Penyulang Gardu Induk Pauh Limo Menggunakan ETAP 12.6”

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang dipaparkan, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

Bagaimana cara menganalisa susut daya pada jaringan distribusi pada PT. PLN (PERSERO) GI Pauh Limo.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang telah teridentifikasi tidak menyimpang dari topik bahasan, maka penulis akan membatasi masalah sebagai berikut:

1. Analisa ini dilakukan di PT. PLN (PERSERO) GI Pauh Limo.
2. Pembahasan tentang susut daya pada jaringan distribusi penyulang gardu induk pauh limo

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa susut daya pada jaringan distribusi penyulang GI Pauh Limo

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini bagi penulis, akademis, dan peneliti lain :

1. Bagi Penulis
Menambah ilmu pengetahuan bagi penulis, khususnya pada ilmu dibidang jaringan distribusi GI Pauh Limo.
2. Bagi Akademis
Penelitian ini dapat menambah wawasan ilmu bagi dunia akademik tentang Studi Analisa Susut Daya Pada Jaringan Distribusi Penyulang Gardu Induk

Pauh Limo Menggunakan ETAP 12.6.0.

3. Bagi Pengelola

Sebagai bahan masukkan dalam perhitungan susut daya dan referensi untuk melakukan pengembangan.

4. Bagi peneliti selanjutnya

Hasil penelitian ini ditujukan sebagai referensi dan sumber informasi untuk penelitian selanjutnya atau yang sama.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memahami penulisan skripsi ini, maka penulis menuliskan sistematika penulisan skripsi sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang penelitian-penelitian sebelumnya dan landasan teori.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara jelas peralatan dan bahan yang dibutuhkan, menjelaskan alur penelitian, gambaran sistem perancangan yang akan diteliti.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang deskripsi penelitian, pengumpulan data-data penelitian, perhitungan, analisa dan pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini penulis merujuk ke penelitian yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya sebagai berikut :

Ahmad Jaya, Wirentake, Mei Priyanto, 2020, “Dalam Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan secara manual menggunakan aplikasi ETAP 12.6 untuk mengetahui susut daya pada jalur Nijang melalui pengkondisian daya. Dengan melakukan penelitian ini dapat menjadi acuan untuk mempertimbangkan dalam melakukan perbaikan yang harus dilakukan untuk meminimalkan susut daya yang ada pada jaringan distribusi tegangan menengah feeder Nijang. Dengan menggunakan Metode kuantitatif yaitu mengambil data dari pengukuran titik masalah, kemudian melakukan perbandingan dengan hasil program simulasi ETAP 12.6 dan menghitungnya secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rugi daya (kWh) dari ke 3 proses menunjukkan bahwa rekonsiliasi energi listrik menghasilkan kerugian daya yang lebih besar yaitu 10.657 kWh, sedangkan pada simulasi ETAP 12.6 dengan hasil susut/rugi daya sebesar 3049 kWh dan dalam perhitungan manual susut daya sebesar 4199 kWh, dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada proses simulasi ETAP 12.6 dan Perhitungan manual hanya memperhitungkan kehilangan daya karena sebab-sebab teknis, sedangkan proses rekonsiliasi energi meliputi sebab-sebab teknis dan non-teknis. Penelitian ini diharapkan dapat membantu upaya untuk memperbaiki kehilangan susut daya di lingkungan PT PLN (Persero) UP3 Sumbawa.

Ahmad Nizar, Bambang Suprianto, 2021, “Dalam karya ilmiah ini dibahas analisa rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20kv dari Bagong, Surabaya Selatan (Gardu Ngagel). Karena adanya pertumbuhan penduduk yang pesat, maka semakin besar pula kebutuhan akan energi listrik. Pada saat menyalurkan energi listrik ke konsumen yang jauh dari sumber listrik, akan selalu ada rugi-rugi daya. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode survei kuantitatif. Metode survei kuantitatif adalah metode survei yang mengamati objek,

mengumpulkan data, mengukurnya, dan menyelidikinya. Tujuan penulisan karya ilmiah ini adalah bertujuan untuk mengetahui secara berkala bagaimana memperhitungkan perubahan beban dan merekomendasikan untuk melakukan penambahan jaringan baru pada subsistem jaringan distribusi 20kv. Untuk melakukan penyaluran energi listrik dari sumber energi listrik ke konsumen yang jauh akan mengakibatkan terjadinya rugi-rugi berupa rugi-rugi listrik. Analisis aliran daya dilakukan menggunakan software ETAP untuk mendapatkan nilai kerugian daya di jaringan distribusi dengan metode Newton Raphson. Hasil besarnya kerugian daya berdasarkan hasil dari simulasi studi aliran daya menggunakan software ETAP terdapat 5 lokasi penyulang yang kerugian dayanya tertinggi yaitu pada penyulang 1 sebesar 1.329 kW, penyulang 11 sebesar 0.616 kW, penyulang 6 sebesar 0.106 kW, penyulang 14 sebesar 0.031 kW dan penyulang 7 sebesar 0.019 kW, terdapat 5 lokasi penyulang yang kerugian daya terendah yaitu penyulang 15, penyulang 20, penyulang 26 sebesar 0.001 kW, penyulang 23 sebesar 0.002 kW dan penyulang 22 sebesar 0.004 kW dan kerugian daya rata-rata keseluruhan penyulang yaitu sebesar 0.1227kW.

Bayu Andik Anggoro, Sukarno Budi Utomo, dan Ida Widihastuti, 2020, “Dalam sistem tenaga, sistem transmisi adalah saluran transmisi daya dari generator ke gardu induk atau dari gardu induk ke gardu induk lainnya, memungkinkan kerugian daya yang besar dan penurunan tegangan, jika panjang saluran transmisi relatif panjang dan tingkat kelebihan beban sangat tinggi. Analisis dan perhitungan rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem transmisi tegangan tinggi 150 kV dari Gardu Induk Pati ke Gardu Induk Jekulo. Analisis dikerjakan dengan melakukan survei ke tempat penelitian, kemudian melakukan perhitungan menggunakan software ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual, metode penelitian yang digunakan yaitu peneliti melakukan pengambilan data arus dan data tegangan pada jam 10.00 dan 19.00 WIB selama sebulan dan spesifikasi alat pendukung sistem transmisi untuk mensimulasikan di ETAP 12.6.0 berawal dari gardu induk Pati dan gardu induk Jekulo dilakukan perbandingan antara perhitungan ETAP 12.6.0 dan manual. Hasil kesimpulan pada penelitian ini adalah perhitungan kerugian daya dengan simulasi ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual memiliki selisih perbandingan 2,5% dengan nilai kerugian daya, nilai

kerugian daya dari hasil simulasi mencapai 266,6 kW sedangkan perhitungan manual sebesar 685,5 kW dan perhitungan presentase kerugian daya pada jalur transmisi GI Pati – GI Jekulo mencapai 6,8 % melebihi batas perubahan persentase layanan karena kehilangan daya sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 minimal -10% maksimal +5%.

Hamles L. Latupeirissa, Halamoan M. Muskita, T.J. Tahalele, 2020, “Tingkat efisiensi yang sangat tinggi harus dipenuhi untuk memperluas sistem jaringan distribusi, namun tidak mengabaikan aspek ekonomi. Efisiensi yang baik akan tercapai jika kehilangan energi dapat ditekan serendah mungkin. Penyusutan jaringan distribusi merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan, baik dalam perencanaan maupun pengoperasiannya, karena berdampak pada biaya investasi. Dalam menghitung rugi daya ini perlu dibuat beberapa batasan yaitu perhitungan konsumsi rugi daya dilakukan untuk menahan sampel saluran kabel overhead dan tegangan menengah. Sedangkan rugi daya akibat pengaruh induktansi dan kapasitansi diabaikan. Selanjutnya dilakukan perhitungan rugi daya trafo distribusi berupa rugi inti dan rugi tembaga. Sedangkan rugi-rugi tegangan saluran, termasuk rugi-rugi isolator kabel atau isolator, tidak diperhitungkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa rugi daya aktual pada setiap gardu induk berbeda antara 582,92 Watt sampai 1001,78 Watt. Susut daya terkecil terjadi di gardu KTAKP1007 (0,42 %) dan susut daya terbesar terjadi di gardu KTAKP1008 (1,15 %). Besarnya total susut daya feeder sebesar 16031,66 watt atau 18,10 %. masih batas normal atau tidak melebihi ketentuan pada SPLN sebesar 20 %.

Rezky Cynthia Dewi Sarikin, 2021 “Analisis Susut Daya dan Energi Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Panakkukang dengan rumusan masalah, Berapa banyak daya dan kehilangan energi yang hilang dalam konduktor di jaringan distribusi feeder Perumnas di PT. PLN (Persero) Rayon Panakkukang dan berapa besar biaya yang hilang yang ditanggung oleh PLN. Sistem distribusi adalah bagian dari sistem kelistrikan yang membantu mendistribusikan listrik dari sumber energi yang besar (Massive Energy Sources) ke konsumen. Penelitian ini bertujuan untuk perhitungan susut daya dan susut energi pada konduktor jaringan

distribusi feeder Perumnas dan menentukan perkiraan rugi-rugi yang timbul oleh PLN pada feeder Perumnas. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk data primer dengan metode observasi, metode wawancara dan untuk data sekunder dengan metode dokumenter. Setelah data terkumpul, maka akan diolah dengan menganalisisnya menggunakan persamaan yang ada. Dasar teori yang dipakai adalah teori perhitungan rugi – rugi daya, rugi energi dan perkiraan kerugian dana. Berdasarkan analisa data yang telah dikerjakan pada 30 trafo distribusi pada feeder Perumnas dapat disimpulkan bahwa terjadinya susutan daya sebesar 4,806.70 kW dan rugi energi sebesar 720,974,174.6 Wh penyebab besarnya arus yang diterima oleh trafo selama beroperasi. Mengubah kapasitor trafo sesuai dengan standar saat ini akan meminimalkan terjadinya masalah.

2.1.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian ini penulis mencantumkan dua hasil penelitian yang memiliki relevansi atau keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

(Ahmad Jaya, Wirentake, Mei Priyanto, 2020). Penelitian berjudul “Dalam Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan secara manual menggunakan aplikasi ETAP 12.6 untuk mengetahui susut daya pada jalur Nijang melalui pengkondisian daya. Dengan melakukan penelitian ini dapat menjadi acuan untuk mempertimbangkan dalam melakukan perbaikan yang harus dilakukan untuk meminimalkan susut daya yang ada pada jaringan distribusi tegangan menengah feeder Nijang. Dengan menggunakan Metode kuantitatif yaitu mengambil data dari pengukuran titik masalah, kemudian melakukan perbandingan dengan hasil program simulasi ETAP 12.6 dan menghitungnya secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rugi daya (kWh) dari ke 3 proses menunjukkan bahwa rekonsiliasi energi listrik menghasilkan kerugian daya yang lebih besar yaitu 10.657 kWh, sedangkan pada simulasi ETAP 12.6 dengan hasil susut/rugi daya sebesar 3049 kWh dan dalam perhitungan manual susut daya sebesar 4199 kWh, dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada proses simulasi ETAP 12.6 dan Perhitungan manual hanya memperhitungkan kehilangan daya karena sebab-sebab teknis, sedangkan proses rekonsiliasi energi meliputi

sebab-sebab teknis dan non-teknis. Penelitian ini diharapkan dapat membantu upaya untuk memperbaiki kehilangan susut daya di lingkungan PT PLN (Persero) UP3 Sumbawa.

(Bayu Andik Anggoro, Sukarno Budi Utomo, dan Ida Widiastuti, 2020). Penelitian berjudul “Dalam sistem tenaga, sistem transmisi adalah saluran transmisi daya dari generator ke gardu induk atau dari gardu induk ke gardu induk lainnya, memungkinkan kerugian daya yang besar dan penurunan tegangan, jika panjang saluran transmisi relatif panjang dan tingkat kelebihan beban sangat tinggi. Analisis dan perhitungan rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem transmisi tegangan tinggi 150 kV dari Gardu Induk Pati ke Gardu Induk Jekulo. Analisis dikerjakan dengan melakukan survei ke tempat penelitian, kemudian melakukan perhitungan menggunakan software ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual, metode penelitian yang digunakan yaitu peneliti melakukan pengambilan data arus dan data tegangan pada jam 10.00 dan 19.00 WIB selama sebulan dan spesifikasi alat pendukung sistem transmisi untuk mensimulasikan di ETAP 12.6.0 berawal dari gardu induk Pati dan gardu induk Jekulo dilakukan perbandingan antara perhitungan ETAP 12.6.0 dan manual. Hasil kesimpulan pada penelitian ini adalah perhitungan kerugian daya dengan simulasi ETAP 12.6.0 dan perhitungan manual memiliki selisih perbandingan 2,5% dengan nilai kerugian daya, nilai kerugian daya dari hasil simulasi mencapai 266,6 kW sedangkan perhitungan manual sebesar 685,5 kW dan perhitungan presentase kerugian daya pada jalur transmisi GI Pati – GI Jekulo mencapai 6,8 % melebihi batas perubahan persentase layanan karena kehilangan daya sesuai SPLN No. 72 tahun 1987 minimal -10% maksimal +5%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem kelistrikan. Fungsi sistem distribusi ini adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dengan kualitas yang sesuai dari gardu distribusi ke pengguna listrik. Salah satu komponen kualitas pelayanan adalah kontinuitas layanan yang bergantung pada topologi dan struktur jaringan dan peralatan tegangan menengah. Terdapat 2 (dua) sistem distribusi yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Distribusi primer, distribusi dimulai dari gardu induk (sisi sekunder trafo) ke gardu distribusi (sisi primer trafo distribusi) atau dari gardu induk langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV. Masalah utama dalam pengoperasian jaringan distribusi adalah penghapusan gangguan yang cepat karena sebagian besar gangguan sistem tenaga listrik terjadi di jaringan distribusi, terutama pada jaringan tegangan menengah. Tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik besar mempunyai tegangan sebesar 11 KV sampai 24 KV yang dinaikkan tegangannya dari gardu induk dengan trafo step-up menjadi 70 KV, 154 KV, 220 KV atau 500 KV yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi [1].

Fungsi dari menaikkan tegangan adalah meminimalkan kehilangan daya pada jaringan transmisi. Kehilangan daya sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Jika dayanya sama, tetapi nilai tegangannya meningkat, arus yang mengalir melaluinya akan berkurang, sehingga konsumsi dayanya juga akan berkurang. Dari jaringan listrik tegangan kembali diturunkan menjadi 20 KV oleh trafo tegangan rendah di gardu distribusi, kemudian daya disalurkan ke jaringan distribusi primer dengan sistem tegangan ini. Dari jaringan distribusi primer ini gardu distribusi akan menurunkan tegangannya dengan menggunakan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu sebesar 220/380 Volt. Dari jaringan distribusi sekunder ini tegangannya akan dikirimkan ke beban atau konsumen.

Sistem menyalurkan daya yang jaraknya jauh, selalu menggunakan tegangan setinggi mungkin dengan memakai trafo step up atau trafo penaik tegangan. Nilai tegangan yang sangat tinggi pada sistem transmisi akan

menyebabkan beberapa dampak antara lain yaitu : buruk terhadap lingkungan sekitar dan harganya yang mahal dari alat perlengkapannya. Nilai tegangan yang sangat tinggi juga tidak sesuai dengan nilai tegangan yang diperlukan oleh beban atau konsumen. Oleh sebab itu pada daerah beban pusat atau konsumen, tegangan tinggi ini akan diturunkan lagi menggunakan trafo step down atau trafo penurunan tegangan. Apabila dilihat dari nilai tegangannya, mulai dari titik sumber sampai ke titik beban atau konsumen, terdapat beberapa bagian saluran yang mempunyai nilai tegangan yang berbeda-beda [2].

Suatu sistem tenaga listrik ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

1) Pembangkit

Pembangkit adalah sumber tenaga listrik yang antara lain berupa : PLTD, PLTA, PLTU, dan lain sebagainya.

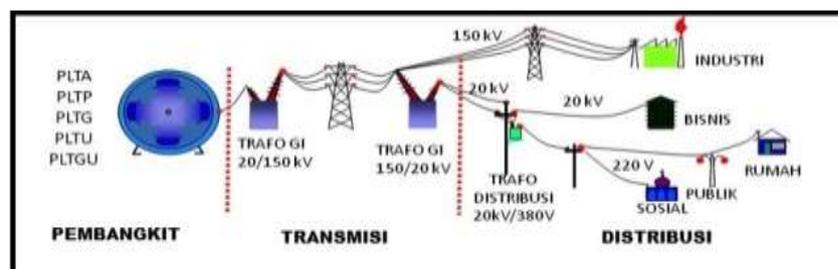
2) Transmisi

Transmisi adalah jaringan untuk penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke beban atau jaringan distribusi.

3) Distribusi

Distribusi adalah sebagai jaringan untuk penyaluran tenaga listrik ke beban atau konsumen.

Sistem tenaga listrik ini dapat digambarkan yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sumber : <https://catatanwsn.wordpress.com>

Berdasarkan pada ukuran tegangannya, jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan atas dua, yaitu :

a. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan jaringan di depan gardu induk dan digunakan untuk mendistribusikan energi listrik tegangan menengah (sebesar :

6 kV atau 20 kV). Kabel konduktor dapat berupa kabel conduit/overhead atau kabel bawah tanah yang menyambungkan gardu induk (sisi sekunder trafo) ke gardu distribusi atau gardu induk pada sisi primer trafo distribusi.

b. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder adalah jaringan setelah gardu distribusi, yang berfungsi penyaluran untuk tenaga listrik bertegangan rendah sebesar : 220 V/380 V. Konduktor listrik berupa kabel tanah atau kabel atas yang menyambungkan gardu induk yang berupa sisi sekunder dari trafo distribusi ke beban/pelanggan atau pengguna seperti : industri dan perumahan [3].

2.2.2 Pengertian Dan Fungsi Jaringan Penyulang Primer

Penyulang utama atau primer adalah jaringan yang terhubung langsung dari gardu induk biasanya terdiri dari jaringan topologi 3 fasa 4 kawat dan cabang serta cabang pembantu dapat berupa jaringan satu fasa atau tiga fasa. Ditinjau dari segi pembangunan dan tempat hantaran listrik terpasang, maka jaringan tegangan menengah (jaringan primer) dibedakan menjadi dua macam yaitu :

- a. Jaringan udara tegangan menengah
- b. Jaringan kabel tegangan menengah di bawah tanah

Saluran udara mengalirkan energi listrik melalui kawat atau kabel yang dipasang atau digantungkan pada tiang dengan isolator, sedangkan saluran kabel bawah tanah mengalirkan energi listrik melalui kabel ground yang ditempatkan di bawah permukaan lantai. Dalam pendistribusian tenaga listrik, harus diperhatikan hal – hal sebagai berikut :

1. Pengaturan tegangan, yaitu perubahan tegangan, dalam jaringan tegangan menengah layanan (tegangan pada terminal konsumen) harus berada dalam batas yang diperbolehkan yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan kerja untuk sistem radial diatas tanah dan sistem simpulan.
2. Kesenambungan layanan dan keamanan, yaitu tidak sering terjadi pemadaman karena kesalahan dan bila ada masalah cepat teratasi. Hal tersebut dapat dicapai dengan dilakukan pengamanan peralatan dengan proteksi , pentanahan, dll.

3. Efisiensi sistem distribusi listrik yaitu Minimalkan kerugian teknis sebanyak mungkin dengan pemilihan dan pengoperasian peralatan yang tepat dan ini juga menghilangkan rugi – rugi non-teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan pada pengukuran.
4. Fleksibilitas untuk menambah beban. Jaringan tegangan menengah digunakan untuk menyuplai tegangan dari sumber berupa pembangkit listrik atau gardu induk ke pusat beban.

Pada jaringan distribusi utama, jaringan yang dipakai untuk setiap beban disebut feeder line (penyulang). Pada umumnya, setiap penyulang diberi nama berdasarkan area pemuatan yang dilayaninya untuk memudahkan mengingat rute yang dilayani penyulang tersebut. Sistem pada jaringan distribusi primer dapat dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Jenis konduktor yang digunakan adalah kabel tidak berisolasi seperti kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), ACSR (*Alluminium conductor steel reinforce*) dan lain – lain.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Jenis penghantar yang digunakan adalah kabel yang berisolasi seperti MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulate Cable*)

3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

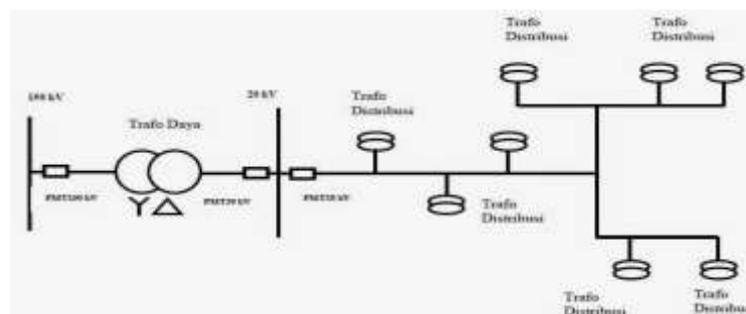
Jenis penghantar yang digunakan adalah kabel tanam yang berisolasi PVC (*Poly Venyl Clorida*), EXLP (*Crosslink Polythelene*).

Sistem pengaman pada jaringan tegangan menengah 20 kV adalah peralatan yang sangat penting menjelang memelihara sambungan dan komponen tegangan menengah. Secara umum alat proteksi yang termasuk dalam jaringan distribusi tegangan tinggi adalah Pemutus Tenaga (PMT), Pemisah (PMS), Saklar Seksi Otomatis (SSO), Saklar Beban (SB), Tie Swicth (TS), Penutup Balik Otomatis (PBO) /Recloser dan Pelebur [4].

2.2.3 Jenis Jaringan Distribusi

1) Sistem Radial

Struktur radial merupakan struktur yang paling sederhana dan jenis struktur yang ada. Bentuknya ditentukan oleh jalur suplai utama dan cabang seperti pohon dari gardu induk, dan konstruksinya yang sederhana membuat biaya konstruksi dan pengoperasian menjadi rendah.. Namun, keandalannya tidak bagus, karena hanya terhubung ke sumber melalui jalur. Oleh karena itu, jika jalur utama di dekat gardu induk terputus, seluruh layanan kelistrikan akan terputus. Oleh karena itu, semakin besar area yang dilayani oleh struktur ini, semakin besar penurunan tegangannya, sehingga tidak dapat melayani area yang sangat luas atau area yang terlalu jauh.. Bentuk dari jaringan distribusi radial ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini [5].



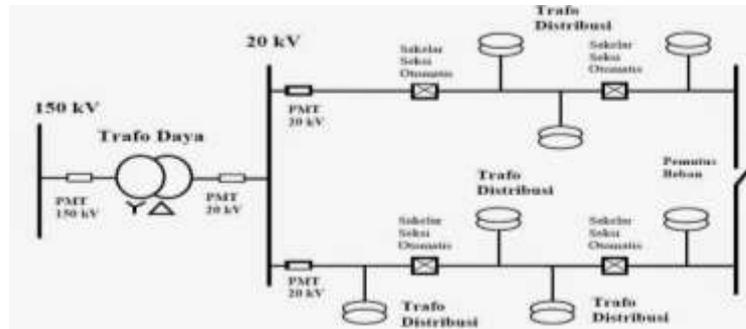
Gambar 2.2 Sistem Jaringan Radial

Sumber : <https://iaeeta.org>

2) Sistem Loop

Struktur loop ini seperti suatu jaringan tertutup yang dimulai dari gardu distribusi melalui area beban dan kembali lagi ke gardu distribusi yang sama. Konstruksi ini merupakan pembaruan dari bentuk radial dan dapat bertindak seperti sistem radial biasa yang beroperasi dengan pemutus sirkuit terbuka. Jika terjadi kasalahan, maka jaringan yang terkena akan diisolasi, kemudian saklar daya akan ditutup sehingga daya tetap dapat disalurkan. Dengan demikian, tampaknya lebih dapat diandalkan daripada metode radial, dan struktur ini sering digunakan di daerah dengan populasi padat yang lokasinya menyerupai lingkaran. Struktur loop ini lebih mahal karena tumpangan dari penghantar yang dipakai harus mampu mendukung pelanggan/beban secara menyeluruh jika salah satu penyulang yang berada dengan dekat gardu induk mengalami

kegagalan. Bentuk dari jaringan distribusi loop ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini [5].

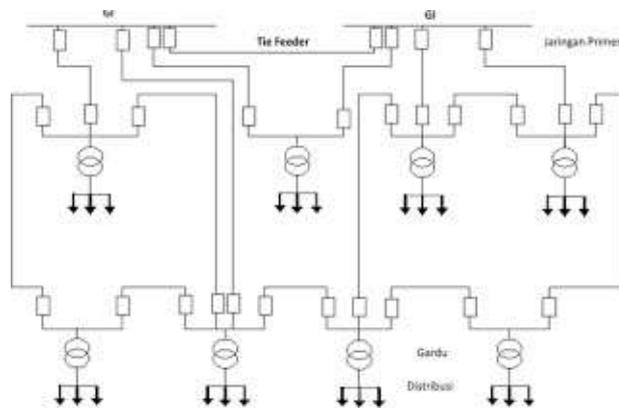


Gambar 2.3 Sistem Jaringan Loop

Sumber : <https://iaeeta.org>

3) Sistem Mesh (Jaring-Jaring)

Sistem mesh atau jaring-jaring ini merupakan sistem penyaluran tenaga listrik gabungan dari beberapa saluran pada gardu induk (GI) dari beberapa sumber tenaga listrik. Sistem ini adalah pengembangan atau kombinasi dari sistem radial dan sistem loop. Sistem ini merupakan sistem terbaik dan terpercaya, karena ditenagai oleh beberapa sumber energi listrik. Titik beban mempunyai banyak cadangan saluran, sehingga apabila salah satu saluran terganggu. Saluran yang lain akan menggantikan saluran yang terganggu tersebut, dengan demikian kontinuitas penyaluran daya terjamin. Bentuk dari jaringan distribusi jaring-jaring atau mesh ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini [5].

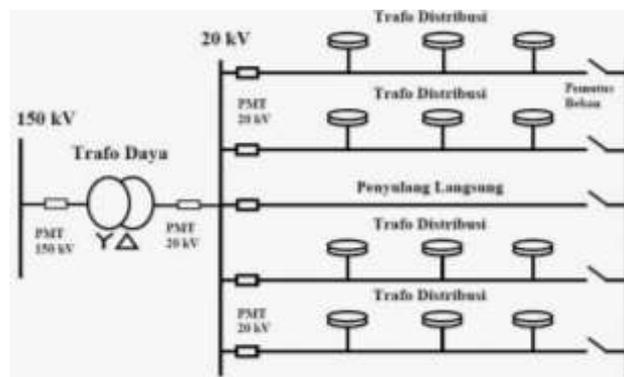


Gambar 2.4 Sistem Jaringan Mesh

Sumber : <https://tabeldiameterkabel.wordpress.com>

4) Sistem Spindel

Struktur spindel merupakan pembaruan dari Struktur loop. Spindel berarti kumparan atau gelondong. Struktur spindel adalah suatu bentuk jaringan khusus yang ditentukan dengan ciri – cirinya rangkaian kabel keluar dari suatu gardu induk (outgoing cable) menuju ke arah suatu titik disebut gardu hubung. Struktur ini memiliki sebuah feeder darurat dan feeder tertentu yang digunakan oleh gardu distribusi yang disebut penyulang kerja. Pada struktur ini, jika terjaga kegagalan pada salah satu feeder kerja maka terlebih dahulu kesalahan diisolasi dan pemutus sirkuit gardu yang terhubung ke feeder tersebut tertutup. Sehingga penyaluran daya listrik melalui feeder cadangan. Bentuk dari jaringan distribusi spindel ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini [5].



Gambar 2.5 Sistem Jaringan Spindel

Sumber : <https://iaeeta.org>

2.2.4 Jenis – Jenis Gardu Distribusi

Gardu Distribusi adalah sebuah gardu induk yang menyalurkan dengan tegangan menengah 20 kV dari jaringan kabel tegangan menengah atau jaringan tegangan tinggi. atau menyertakan dari instalasi Transformator Distribusi (TD), Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk menyalurkan kebutuhan tenaga listrik pada pelanggan, baik dengan Tegangan Rendah (TR 220/330V) maupun Tegangan Menengah (TM 20 kV). Gardu distribusi secara garis besar dikelompokkan atas [6]:

1. Jenis Pemasangannya

a) Gardu Pasangan Luar

Seluruh peralatan terletak di dalam bangunan jadi bebas dari hujan dan panas matahari. Tipe gardu distribusi ini sesuai untuk wilayah yang sulit pengadaan tanah yang luas serta membutuhkan tingginya pengamanan serta perawatan.

b) Gardu Pasangan Dalam

Peralatan utama gardu distribusi ini adalah transformator, pemutus dan panel yang terletak di lapangan terbuka dan tahan terhadap hujan maupun panas matahari. Jenis ini sesuai untuk daerah yang mudah dalam menyediakan tanah dengan perawatan dan pengamanan yang lebih sederhana.

c) Gardu induk kombinasi pasangan luar dan pasangan dalam :

Adalah gardu induk dimana peralatan pada gardu induk berada di dalam gedung dan beberapa peralatan lainnya pada gardu induk berada di luar gedung, misalnya ganty (tie line) dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam switchgear.

2. Jenis Konstruksinya

a) Gardu Beton

Yaitu sebuah gardu yang seluruh peralatan utama instalasinya seperti trafo dan peralatan pelindung didalam bangunan tempat tinggal yang dirancang dengan konstruksi beton. Pembangunan gedung gardu induk ini sebaiknya memenuhi persyaratan sistem pengamanan kelistrikan. Cara membedakan gardu beton yaitu gardu ini lebih mirip seperti bangunan sipil.



Gambar 2.6 Gardu Beton

Sumber : <https://3dwarehouse.sketchup.com>

b) Gardu Kios

Yaitu gardu distribusi energi listrik yang dihasilkan bangunan terbuat dari bahan bangunan baja. Gardu ini dibangun di tempat yang tidak memungkinkan untuk membangun gardu dinding atau gardu beton. Karna sifatnya bisa berpindah – pindah, maka kapasitas trafo yang terhubung terbatas yakni maksimum 400 Kva. Ada beberapa jenis gardu kios ini, seperti gardu kios bertingkat, gardu kios modular dan gardu kios kompak. Khusus untuk gardu kompak, seluruh peralatan utama gardu telah dirakit secara lengkap di pabrik, sehingga pembangunan gardu ini akan lebih cepat dibandingkan dengan pembangunan gardu beton.



Gambar 2.7 Gardu Kios

Sumber : <https://appi-electric.co.id>

c) Gardu Tiang

Adalah gardu distribusi listrik yang elemen konstruksi utamanya memakai tiang, gardu tiang bisa berupa tiang baja atau tiang beton, yang mempunyai masa pakai setidaknya 500 dAn dan mempunyai panjang 11 sampai 13 meter sesuai dengan lokasi pendiriannya dan kebutuhan.

Secara garis besarnya, Gardu Tiang ini ada 2 jenis, yaitu :

- Gardu Portal

Yaitu gardu distribusi tenaga listrik model terbuka (Out-door), dengan menggunakan desain dua tiang atau lebih. Tempat posisi trafo sekurang

kurangya 3 meter di atas tanah. Dengan sistem pengamanan pada bagian atas dan panel voltase di bagian bawah untuk mempermudah pekerjaan engineering dan pemeliharaan.

- Gardu Cantol

Yaitu jenis gardu induk tenaga listrik dengan trafo, proteksi, dan Papan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) dicantolkan atau dipasang langsung di tiang listrik yang memiliki kekuatan minimal 500 dAn.



Gambar 2.8 Gardu Tiang Tipe Cantol dan Portal

Sumber : <https://trafoinstrumen.wordpress.com>

d) Gardu Mobil

Disebut gardu mobil karena dipasang didalam mobil. Gardu tipe ini bisa dipindah-pindahkan atau biasa digunakan untuk emergency. Gardu tipe ini digunakan untuk sementara.



Gambar 2.9 Gardu Mobil

Sumber : <https://www.trafoindonesia.com>

2.2.5 Klasifikasi Daya Listrik

Klarifikasi daya listrik umumnya di bagi menjadi tiga bagian. Daya terhubung adalah daya yang di hubungkan oleh pihak PT. PLN (Pesero) pada pelanggan/konsumen. Dalam penyaluran energi listriknya pihak PT. PLN (Pesero) menggunakan ketentuan yang telah di tetapkan. Daya tersambung adalah besarnya energi listrik yang dihitung dari besarnya setiap beban tersambung. Beban yang tersambung bisa seperti motor listrik, lampu dan beban listrik lainnya. Daya tersambung umumnya ditetapkan dalam VA.

Daya terpakai adalah jumlah energi listrik yang dikonsumsi oleh beban terpasang. Besarnya pemakaian daya yang dikonsumsi dapat diketahui dari alat pengukur, misalnya watt meter dan peralatannya lainnya. Beban yang tersambung ada kemungkinan tidak di operasikan secara serentak. Bagi pelanggan Tegangan Menengah (TM) dan Tegangan Rendah (TR), PT, PLN (Pesero) menetapkan bahwa pembatasan daya tersambung sesuai dengan standard ketentuan di bawah ini [7]:

1. Sistem satu fasa pelanggan tegangan rendah 220 V (VA)

Tabel 2.1 Daya Tersambung Sistem Satu Fasa Tegangan Rendah :

Daya Tersambung	Pembatas / MCB 1 Fasa	Pengukuran / kWh Meter
220	1 x 1	kWh Meter 1 Fasa 220 volt dua kawat
450	1 x 2	
900	1 x 4	
1.300	1 x 6	
2.200	1 x 10	
3.500	1 x 16	kWh Meter 1 Fasa 220 volt dua kawat
4.400	1 x 20	
5.500	1 x 25	
7.700	1 x 35	
11.000	1 x 50	
13.900	1 x 63	kWh Meter 1 Fasa 220 volt dua kawat, bila perlu dengan trafo arus tegangan rendah
17.600	1 x 80	
22.000	1 x 100	

Sumber : <https://www.carailmu.com>

2. Sistem tiga fasa pelanggan tegangan rendah 380 V (VA)

Tabel 2.2 Daya Tersambung Sistem Tiga Fasa Tegangan Rendah :

Daya Tersambung	Pembatas / MCB 1 Fasa	Pengukuran / kWh Meter
3.900	3 x 6	kWh Meter 3 Fasa 380 volt empat kawat
6.600	3 x 10	
10.600	3 x 16	
13.200	3 x 20	
16.500	3 x 25	
23.000	3 x 35	
33.000	3 x 50	
41.500	3 x 63	kWh Meter 3 Fasa 380 volt empat kawat, bila perlu dengan trafo arus tegangan rendah
53.000	3 x 80	
66.000	3 x 100	
82.500	3 x 125	kWh Meter 3 Fasa 380 volt empat kawat dengan trafo arus tegangan rendah
105.000	3 x 160	
131.000	3 x 200	
147.000	3 x 225	
164.000	3 x 250	
187.000	3 x 300	

Sumber : <https://www.carailmu.com>

3. Sistem Tiga Fasa Pelanggan Tegangan Menengah 20 KV (KVA)

Tabel 2.3 Daya Tersambung Sistem Tiga Fasa Tegangan Menengah :

Daya Tersambung	Pembatas / MCB 1 Fasa	Pengukuran / kWh Meter
233.000	3 x 355	PMT dilengkapi dengan trafo arus dan relay pembatas thermis overload dengan setelan disesuaikan daya kontrak
279.000	3 x 425	
329.000	3 x 500	
414.000	3 x 630	

Sumber : <https://www.carailmu.com>

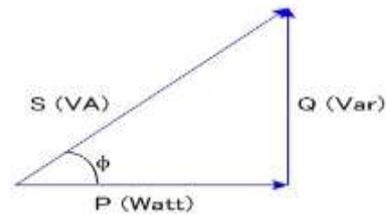
2.2.6 Faktor Daya

Menurut (Chopade & Bikdash, 2011), Faktor daya adalah skala daya nyata (W) untuk daya total (VA). Menurut (Whitaker, 1999), Faktor daya juga dapat diartikan sebagai perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya dipengaruhi oleh jenis beban terpasang disistem. Karakteristik beban ditentukan oleh nilai pada faktor daya. Beban induktif berdampak besar pada faktor daya, karena menyerap banyak daya reaktif, sehingga dapat penurunan pada faktor daya. Faktor daya dapat disimbolkan sebagai $\cos \theta$, seperti [8]:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S} \cos \varphi \quad (2.1)$$

Faktor daya yang bagus adalah faktor daya yang memiliki nilai besar. Pada teorinya, faktor daya dapat mencapai 100%, tapi pada kenyataannya faktor daya tidak dapat mencapai 100%, tetapi dengan adanya komponen untuk memperbaiki faktor daya, hal ini disebabkan karena setiap dalam rangkaian listrik terdapat kapasitansi dan induktansi yang memerlukan daya reaktif. Daya reaktif di butuhkan oleh sistem listrik arus bolak balik untuk menciptakan daya yang berguna (*useful work*), sehingga alat listrik seperti AC dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Faktor daya yang tinggi sangat berguna untuk keseluruhan pada sistem kelistrikan. Selain dapat meningkatkan ketepatan, faktor daya yang cukup tinggi juga akan membantu menghemat anggaran listrik dan menambah umur peralatan listrik suatu peralatan listrik. Dalam beberapa hal rumus sambungan daya, arus dan tegangan tidak tercapai untuk setiap beban, karena sumber listrik arus bolak balik (AC) menghasilkan energi listrik dalam bentuk energi reaktif dan energi aktif. Energi aktif (dinyatakan dalam watt) adalah energi yang di butuhkan untuk diubah ke dalam bentuk energi lain, misalnya : energi panas, cahaya, mekanik dll. Sedangkan energi reaktif (dinyatakan dalam VAR) diperlukan oleh komponen yang bekerja menggunakan sistem electromagnetic, yaitu untuk pembuatan medan magnetnya, komponen yang demikian diantaranya : motor, trafo dan lampu pijar. Daya listrik biasanya yang di bangkitkan oleh pusat tenaga listrik di bagi dalam 3 (tiga) bagian yaitu :



Gambar 2.10 Segitiga daya

Sumber : <https://www.listrik-praktis.com>

1. Daya aktif (WAT)

$$p = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi \quad (2.2)$$

Sehingga :

$$In = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\varphi} \quad (2.3)$$

2. Daya reaktif (VAR)

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\varphi \quad (2.4)$$

Sehingga :

$$In = \frac{Q}{\sqrt{3} \times V \times \sin\varphi} \quad (2.5)$$

3. Daya semu (VA)

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

Sehingga :

$$In = \frac{P}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.7)$$

$$I_{rating} = k \times In \quad (2.8)$$

Dimana :

P = Daya aktif (Watt)

Q = Daya reaktif (VAR)

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos φ = Faktor dayaSin φ = Faktor daya

2.2.7 Susut pada Sistem Tenaga Listrik

Definisi susut (losses) berdasarkan Surat Keputusan Menteri Keuangan Nomor 431/KMK.06/2002 adalah bentuk kerugian energi pada listrik yang diakibatkan oleh selisih antara jumlah energi listrik yang telah dibeli dengan jumlah energi listrik yang terjual, atau banyaknya kehilangan energi, karena sebab-sebab teknis maupun non teknis dalam penyediaan dan pendistribusian energi. Tahap peyaluran listrik pada pelanggan dapat menimbulkan susut teknis (losses), yakni rugi daya serta susut energi yang dimulai dari pembangkit, transmisi serta distribusi. Kerugian teknis timbul dari terjadinya hambatan (R) pada penghantar penghantar arus hingga terjadinya kerugian teknis (I^2R) pada jaringan yang melibatkan mesin listrik seperti generator dan trafo. Kerugian teknis pada pembangkit listrik dapat diperbaiki dengan menambah tingkat ketepatan dan mengurangi konsumsi sendiri.

Nilai normal kehilangan susut energi rata-rata dalam sistem penyaluran, mulai dari transmisi, distribusi adalah 10% dari gross produksinya dan kurang dari 5% jika ditinjau dari segi ekonomi. Namun, dari beberapa Pusat Pengatur Beban (*LDC Network*) ditemukan nilai yang susut dayanya mendekati 20% walaupun telah dilakukan perbaikan.

Berdasarkan Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No.217- 1.K/DIR/2005 tentang Pedoman Pembuatan Laporan Neraca Energi (kWh), terdapat 2 macam susut (losses) energi listrik, yaitu:

1. Susut Teknis

Susut teknis yaitu kehilangan energi listrik selama distribusi dari generator ke pelanggan karena berubah menjadi panas. Kerugian teknis ini tidak dapat dihilangkan karena merupakan kondisi kegagalan atau kerugian yang terjadi karena alasan teknis ketika energi tereduksi diubah menjadi panas. Pada Alat Pengukur dan Pembatas (APP), Sambungan Rumah (SR), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Tinggi (JTT), Gardu Distribusi (GD), Gardu Induk (GI),

2. Susut Non Teknis

Susut non teknis yaitu kerugian listrik yang digunakan oleh konsumen dan non konsumen, karena tidak terdaftar dalam pendapatan. Ada penyebab – penyebab susut non teknis antara lain pencurian pada listrik, salah pembacaan pada meteran, kegagalan alat ukur, dll. Dalam sistem jaringan distribusi pencurian pada listrik terdapat banyak modus, yaitu memakai alat tertentu untuk mengurangi pencurian listrik, pencegahan dilakukan secara meyakinkan dengan mengedukasi masyarakat tentang akibat pencurian listrik, melalui media massa atau melalui sosialisasi secara langsung. Selain cara komunikasi juga dilakukan dengan cara memperbaiki, yaitu melakukan Penertiban Penggunaan Tenaga Listrik (P2TL) dengan ketekunan dan kecermatan yang tinggi [9].

Penyebab Terjadinya Susut:

1. Terjadi susut pada saluran (penghantar)

2. Kerugian akibat panas

Jika suatu konduktir dialiri listrik secara permanen, maka akan mengakibatkan energi panas yang disebabkan oleh energi listrik yang bergerak pada konduktor tersebut.

3. Kerugian akibat jarak

Hal ini sangat mempengaruhi kehandalan jaringan karena semakin panjang konduktor maka semakin banyak daya yang hilang karena konduktor itu sendiri mengalami kendala karena jaraknya yang jauh dari konduktor dari pembangkit atau sumber tenaga listrik, maka pada nilai hambatan konduktor akan mengurangi arus ke pengirim.

4. Beban tidak seimbang dan arus mengalir pada kawat netral

Makanya ada arus yang bergerak di kabel netral, idealnya ada arus nol bergerak di kabel netral. Namun adanya pengaruh beban yang tidak sesuai, konduktor netral akan membawa sejumlah arus yang diubah menjadi panas dan dipancarkan ke wilayah setempat sebagai rugi-rugi. Besarnya arus yang bergerak di kabel netral dan akan mengakibatkan susut daya di kabel netral.

5. Kontak pada sambungan tidak baik (loss contact)

Sambungan antara kabel tidak rapat, sehingga terdapat celah udara harus rapat sehingga menyebabkan alat cepat rusak. Koneksi yang buruk terkadang disebabkan oleh ranting atau benda asing yang tersangkut di kabel.

2.2.8 Perhitungan Susut Daya (Losses)

Perhitungan susut energi secara teori untuk memperoleh nilai susut energi jaringan distribusi sebagai pembeda terhadap nilai susut dari hasil pengukuran di lapangan.

1) Susut Daya (Losses)

Susut daya merupakan kerugian terjadi karena adanya kegagalan daya di jaringan conyohnya ada daya reaktif dan daya aktif. Semakin panjang saluran, semakin besar resistansi dan reaktansi jaringan, sehingga kerugian daya aktif dan reaktif meningkat. Karena itu dapat kesimpulan bahwa susut daya (losses) adalah suatu bentuk kerugian daya listrik yang disuplai oleh PLN dengan sejumlah daya yang dijual kepada konsumen dan mengganggu ketepatan sistem distribusi tenaga listrik[10].

Susut daya disebabkan karena pada jaringan distribusi memiliki induktansi, hambatan, dan kapasitansi. Karena jaringan distribusi sekunder atau primer mempunyai jarak yang pendek maka kapasitas dapat diabaikan. Besarnya susut daya listrik ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_l = I^2 \times R \times L \quad (2.9)$$

Susut daya pada jaringan 3 phasa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_l = 3 \times I^2 \times R \times L \quad (2.10)$$

Dimana :

- P_l = Susut daya listrik (Watt)
- I = Arus (Ampere)
- R = Tahanan (Ohm)
- L = panjang saluran (m)

2) Impedansi Saluran (Z)

Tingkat impedansi saluran tergantung pada penurunan tegangan, reaktansi, dan resistansi, yang dinyatakan dalam ohm dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Z = (R \cdot \cos \varphi + jx \cdot \sin \varphi) \quad (2.11)$$

Dimana :

Z = Impedansi saluran (Ohm)

X = Reaktansi saluran (Ohm)

R = Tahanan saluran (Ohm)

3) Tahanan Saluran (R)

Distribusi energi listrik pada jaringan distribusi primer disebabkan oleh pengukuran kapasitansi, resistansi dan induktansi, ketiga pengukuran ini menyebabkan penurunan voltase dan kegagalan daya. Untuk jarak jaringan pendek, efek kapasitif dapat diabaikan. Menurut Stevenson, William, 1994, P adalah resistansi jenis setiap konduktor tembaga = 0,0178 Ω -mm²/m dan aluminium = 0,0322 Ω - mm²/m).

Untuk mencari hambatan pada saluran dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$R = p \frac{L}{A} \quad (2.12)$$

Dimana:

R = tahanan saluran (Ω)

p = hambatan jenis (Ω mm²/m)

L = panjang saluran (m)

A = luas penampang (mm²)

4) Reaktansi

Reaktansi adalah resistansi dalam konduktor tegangan yang terdiri dari induktor yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$X_L = 2\pi fL$$

Dimana:

X = Reaktansi saluran (Ohm)

- f = Frekuensi (Hz)
L = Induktansi (Henry)

2.2.9 Drop Tegangan

Drop tegangan disebut juga dengan susut tegangan, adalah tegangan pada beban tidak sama dengan tegangan suplai, sehingga perbedaan antara tegangan suplai dan tegangan pada beban, yaitu tegangan pada beban lebih rendah dari tegangan sumber, kemungkinan diakibatkan oleh impedensi saluran, faktor arus dan tegangan sumber [11].

Jatuh tegangan (V_d) yang dimaksud dalam pembahasan ini ialah pengurangan antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima, drop tegangan dapat ditetapkan dengan persamaan berikut.

$$V_d = I \times (R \cos \varphi + jx \sin \varphi) \quad (2.13)$$

Drop tegangan pada jaringan 3 fasa dapat ditetapkan dengan persamaan berikut.

$$V_d = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \varphi + jx \sin \varphi) \quad (2.14)$$

Persentase drop tegangan dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100 \% \quad (2.15)$$

Tegangan terima dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_t = V_k - V_d \quad (2.16)$$

$$V_k = V_t + V_d \quad (2.17)$$

Dimana :

- V_d = Drop tegangan (Volt)
 $V_d (\%)$ = Drop tegangan (Volt)
 V_k = Tegangan kirim (sumber)
 V_t = Tegangan terima
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)

R = Tahanan (Ohm)

$\cos\phi$ = Faktor daya

2.2.10 ETAP (Electric Transient Analysis Program)

ETAP merupakan perangkat lunak yang power sistemnya bekerja berdasarkan perencanaan (project). Setiap perencanaan harus menyediakan peralatan atau sumber daya untuk melakukan analisis yang akan dilakukan. Pada power station setiap perencanaan harus menyediakan data base. ETAP dirancang untuk memproses beragam topologi dan kondisi sistem tenaga, baik pada pelanggan industri maupun perumahan, untuk analisa kinerja skema di sisi power grid atau utility, kabel (cable raceways), AC/DC kontrol sistem diagram, desain panel koordinasi proteksi (protective device coordination/selectivity), dan pentanahan GIS. ETAP 12.6 dapat membuat bagan garis dan melakukan berbagai analisis/pembelajaran antara lain [12]:

a. Load Flow (aliran daya)

Percobaan pada load flow atau aliran daya ini berfungsi menentukan bentuk aliran daya berupa pengaruh fluktuasi beban dan susut daya transmisi pada aliran daya

b. Analisa Hubung Singkat

Short circuit analysis ini digunakan melakukan simulasi kondisi steady state dan koordinasi perlindungan, pengujian dinamis perangkat pelindung, dan mulai analisis penyetelan perangkat. Ini juga mendukung persyaratan dan keputusan desain untuk meningkatkan keandalan, stabilitas, dan efisiensi sistem.

c. Analisa Koordinasi Perangkat Star

Star-Protective Device Coordination Analysis berfungsi untuk melakukan proses simulasi kondisi steady-state dan lakukan penyetelan, perlindungan, dan pengujian dinamis perangkat pelindung. Star-Protective Device Coordination Analysis implementasi studi koordinasi peralatan pelindung yang dilakukan secara tepat dan mudah. Selain itu Star-Protective Device Coordination Analysis ini juga membantu kebutuhan desain dan pengambilan kesimpulan untuk menambahkan efisiensi sistem, stability dan reliability.

2.3 Hipotesis

Dalam penelitian ini diharapkan susut daya dan drop tegangan dapat berkurang, karena pemilihan rating pengaman dan luas penampang kabel yang telah tepat, aman handal dan efisien. Serta dapat menjadikan penelitian ini sebagai referensi studi analisa susut daya pada jaringan distribusi pada gardu induk yang efisien dan handal.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat Dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian evaluasi studi analisa susut daya pada jaringan distribusi penyulang gardu induk pauh limo menggunakan etap 12.6 penulis membutuhkan data-data. Data-data yang diperlukan untuk menganalisa perhitungan sebagai berikut :

ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) merupakan suatu perangkat lunak pendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat digunakan untuk, pengontrolan sistem real-time atau pengelolaan data real-time online, simulasi daya offline. Fitur yang ditemukan pada perangkat lunak ini diantara lainnya berfungsi untuk menganalisis sistem distribusi, transmisi dan pembangkitan. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk menambahkan kualitas kearnanan di Arnerika Serikat pada fasilitas nuklir dan kemudian berkembang menjadi sistem pemantauan pengolahan energi real time, optimasi, pengontrolan, dan simulasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007). ETAP bisa berfungsi untuk membuat berbagai analisa pada jalur sistem pentanahan dan membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) diantara lain: starting motor, trancient stability, aiiran daya, hubung singkat, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Sebuah pekerjaan sistem tenaga mempunyai faktor rangkaian individu yang bisa diedit langsung dari jalur sistem pentanahan atau skema tunggal. Untuk kenyamanan analisis, hasil perhitungan dapat dilihat dalam diagram satu garis. Dalam ETAP 12.6 ini ditemukan beberapa acuan dasar seperti: standar yang digunakan plant (ANSI atau IEC), jenis-jenis elemen (elemen AC, instrument, maupun elemen DC), frekuensi terutama di lingkungan industri, sistem tidak harus memiliki catu daya ke beban.

3.2 Alur Penelitian

Dalam penelitian harus memperhatikan langkah-langkah yang sistematis. Hal tersebut dapat memberi arahan untuk memudahkan pemahaman tujuan yang mau di capai dalam metode penelitian.

Langkah-langkah penelitian skripsi ini adalah :

1. Studi Literatur

Yaitu pengkajian yang telah ditemukan oleh peneliti dengan cara mengumpulkan beberapa buku atau jurnal yang memiliki kaitan dengan masalah dan tujuan penelitian. Teknik ini dikerjakan dengan tujuan mengungkap beragam teori yang memiliki kaitan dengan masalah yang diteliti sebagai acuan dalam ulasan hasil penelitian. Selain itu, studi literatur dilakukan untuk memperoleh data-data untuk referensi.

2. Observasi

Yaitu mengumpulkan data-data transformator tenaga, data arus beban, data jenis penghantar dan data impedansi masing-masing penyulang yang didapat dari PT. PLN(Persero) Padang.

3. Diskusi

Yaitu mengadakan konsultasi dan bimbingan dengan dosen di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bung Hatta.

4. Perhitungan

Yaitu melakukan perhitungan susut daya dan drop tegangan pada jaringan tegangan menengah.

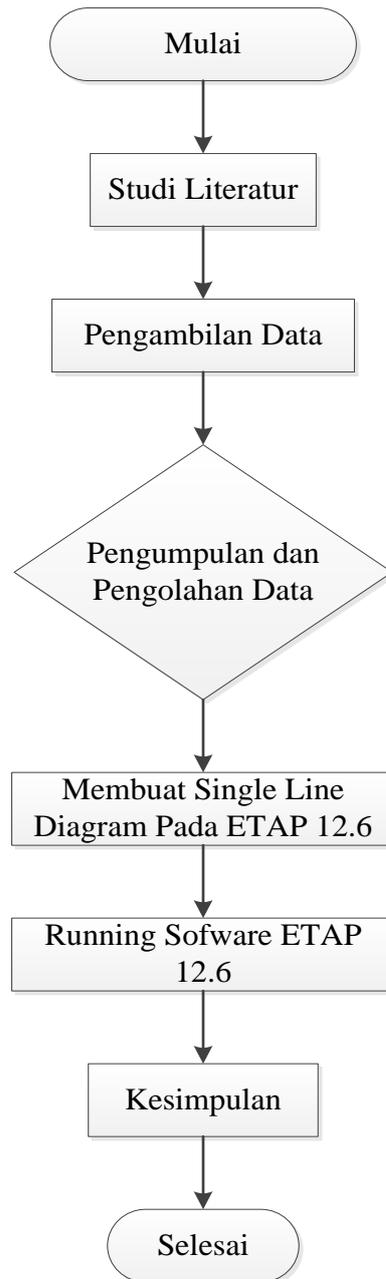
5. Hasil Analisa

Yaitu hasil akhir dari pembahasan susut daya dan drop tegangan pada penelitian tersebut.

6. Membuat Laporan

Yaitu mensintesis data untuk menghitung susut daya dan jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah dan mengimplementasikan langkah kerja dari hasil penelitian.

Alur penelitian dapat di gambarkan dalam bentuk flowchart penelitian seperti pada gambar 3.1:



Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat ditulis dalam rumus dan metode perhitungan gambar 3.1 sebagai berikut :

- Perhitungan daya semu

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (3.1)$$

- Perhitungan daya aktif

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi \quad (3.2)$$

- Perhitungan daya reaktif

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\varphi \quad (3.3)$$

- Perhitungan impedansi saluran

$$Z = (R \cdot \cos \varphi + jx \cdot \sin \varphi) \quad (3.4)$$

- Perhitungan susut daya

$$P_l = 3 \times I^2 \times R \times L \quad (3.5)$$

- Perhitungan drop tegangan

$$Vd = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \varphi + jx \sin \varphi) \quad (3.6)$$

$$Vd (\%) = \frac{Vd}{V_k} \times 100\% \quad (3.7)$$

- Perhitungan tegangan terima

$$V_t = V_k - Vd \quad (3.8)$$

3.3 Deskripsi Sistem dan Analisis

Pada awal penelitian dilakukan studi literatur, tujuan dari studi literatur yaitu mengkaji, menggali, serta menelaah teorema-teorema yang bersangkutan dengan judul skripsi, serta metode untuk pengumpulan bahan pustaka atau referensi teori yang penting dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan.

Selanjutnya diperlukan pengumpulan data untuk mencapai tujuan skripsi dengan judul Studi Analisa Susut Daya Pada Jaringan Distribusi Penyulang Gardu Induk Pauh Limo menggunakan ETAP 12.6. Setelah pengumpulan data, kemudian data tersebut diolah dengan tujuan untuk perhitungan. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui susut daya dan drop tegangan pada jaringan distribusi penyulang gardu induk pauh limo.

Setelah perhitungan maka didapat hasil yang bertujuan untuk menyelesaikan penyusunan laporan skripsi.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Penelitian

Keperluan masyarakat akan daya listrik yang terus bertambah di Kota Padang seiring dengan bertamabahnya pertumbuhan penduduk dan peralatan listrik yang dipakai. Kondisi ini memaksimalkan ketersediaan energi listrik yang efisien dan berkualitas. Efisiensi artinya listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal oleh pelanggan atau tanpa adanya pemadaman pada jaringan.

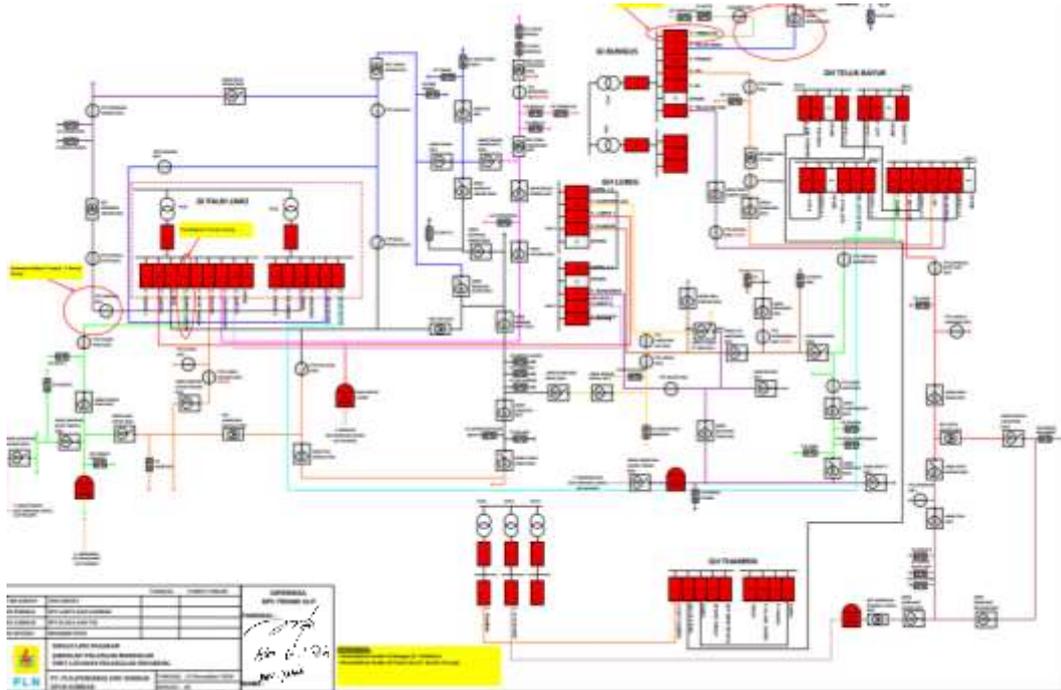
Dalam pendistribusian tenaga listrik, beberapa permasalahan yang biasa ditemui antara lain padamnya aliran listrik dan penurunan tegangan pada jalur distribusi. Beberapa faktor penyebab terjadinya susut daya dan jatuh tegangan antara lain jenis dan panjang penghantar.

Energi susut/losses adalah jumlah energi yang hilang selama penyaluran energi dari gardu induk atau gardu distribusi ke konsumen. Penurunan tegangan adalah perbedaan antara tegangan pemancar dan tegangan penerima. Pelanggan yang berlokasi jauh dari gardu distribusi lebih sering menerima tegangan yang lebih rendah dibandingkan dengan pelanggan yang berada di dekat gardu distribusi.

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Single line diagram

PT. PLN (Persero) Gardu Induk Pauh Limo terdapat beberapa Penyulang, ada 8 Penyulang yang terdapat pada Gardu Induk Sungai Penuh yaitu, Penyulang Teluk Bayur, Penyulang Limau Manis, Penyulang UNAND, Penyulang Lubuk Peraku, Penyulang Lubeg 2, Penyulang Kuranji, Penyulang Koto Tinggi, Penyulang BLKI Dan Penyulang Lubeg 1. Untuk lebih jelasnya seperti pada lampiran 1 :



Gambar 4.1 Single line diagram Gardu Induk

4.2.2 Data

Data – data yang diperlukan dari PT. PLN (Persero) cabang Padang sebagai bahan penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Transformator 60 MVA

No.	Transformator penyulang 20 KV Gardu Induk Pauh Limo	
1.	Merk	Pauwels
2.	Tahun Pembuatan	2012
3.	Kapasitas	60 MVA
4.	Pendingin	ONAN/ONAF
5.	Frekuensi	50 Hz
6.	Phasa	3
7.	Arus	1732 A
8.	Tegangan	20 kV
9.	Cos ϕ	0,95
10.	HV-LV	165.000 - 200.000
11.	Impedansi (%)	12,531

Tabel 4.2 Data Kabel Penyulang Gardu Induk Pauh Limo

No.	Feeder/ Penyulang	Panjang Saluran (kms)	Ukuran Penampang (mm^2)	Jenis Kawat	R (Ω /km)	X (Ω /km)
1.	Lubeg 1.1	6,94	240	A3C & A3CS 240 mm^2	0,134	0,316
2.	Lubeg 1.2	2,05	240	SKTM 240 mm^2	0,125	0,097
3.	BLKI 2.1	11,84	70	A3C & A3CS 70 mm^2	0,461	0,357
4.	BLKI 2.2	8,53	150	A3CS 150 mm^2	0,216	0,330
5.	Kuranji 3.1	10,97	150	A3C & A3CS 150 mm^2	0,216	0,330
6.	Kuranji 3.2	8,20	70	A3C & A3CS 70 mm^2	0,461	0,357
7.	Lubuk Peraku 4.1	12,75	70	A3C 70 mm^2	0,461	0,357
8.	Lubuk Peraku 4.2	8,65	150	A3CS 150 mm^2	0,216	0,330
9.	Lubeg 2.1	7,00	70	A3C 70 mm^2	0,461	0,357
10.	Lubeg 2.2	0,30	240	SKTM 240 mm^2	0,125	0,097
11.	UNAND 6.1	10,87	70	A3C & A3CS 70 mm^2	0,461	0,357
12.	UNAND 6.2	3,34	150	A3C & A3CS 150 mm^2	0,216	0,330
13.	UNAND 6.3	0,64	240	A3CS 240 mm^2	0,134	0,316
14.	Limau Manis 7.1	15,30	70	A3C & A3CS 70 mm^2	0,461	0,357
15.	Limau Manis 7.2	7,02	150	A3CS 150 mm^2	0,216	0,330
16.	Limau Manis 7.3	0,20	240	SKTM 240 mm^2	0,125	0,097
17.	Teluk Bayur 8.1	10,71	240	A3C & A3CS 240 mm^2	0,134	0,316
18.	Teluk Bayur 8.2	0,60	240	SKTM 240 mm^2	0,125	0,097

Tabel 4.3 Data Beban Penyulang Gardu Induk Pauh Limo

JAM	Penyulang							
	Lubeg 1	BLKI	Kuranji	Lubuk Peraku	Lubeg 2	UNAND	Limau Manis	Teluk Bayur
01:00	80	90	45	45	110	40	65	100
02:00	80	85	45	45	110	38	60	102
03:00	74	80	40	40	110	38	60	102

04:00	74	74	40	40	108	35	55	96
05:00	68	74	40	40	108	35	55	96
06:00	68	74	41	42	120	40	65	90
07:00	75	80	41	42	120	40	65	105
08:00	75	80	43	70	120	40	65	105
09:00	107	80	48	76	101	36	62	81
10:00	112	40	49	78	110	39	63	100
11:00	112	41	48	77	110	38	66	92
12:00	111	96	51	83	110	40	70	100
13:00	110	95	50	85	105	41	68	101
14:00	119	97	51	86	100	40	67	84
15:00	117	99	51	84	107	40	68	89
16:00	119	95	51	43	103	40	69	104
17:00	118	94	51	44	105	41	68	112
18:00	126	104	56	48	104	42	74	96
19:00	147	118	67	56	116	49	85	93
20:00	148	118	65	55	121	48	85	97
21:00	145	16	62	54	116	47	82	117
22:00	140	108	59	49	115	45	78	86
23:00	126	99	52	44	104	41	69	112
00:00	120	96	50	4	100	40	65	110

4.3 Pengolahan Data

Sebelum melakukan simulasi drop tegangan dan susut daya, kita akan melakukan perhitungan beban di setiap penyulang pada Gardu Induk Pauh Limo, dengan perhitungan sebagai berikut:

4.3.1 Perhitungan Pada Feeder Lubeg 1

4.3.1.1 Perhitungan Pada Feeder Lubeg 1 Kabel A3C & A3CS 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Lubeg 1

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran

$\ell = 6,94 \text{ km}$, $R = 0,134 \Omega/\text{km} \times 6,94 \text{ km} = 0,929 \Omega$. Nilai X (induktansi)

kawat: $X = 0,316 \Omega/\text{km} \times 6,94 \text{ km} = 2,193 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (0,929 \Omega \times 0,93 + j2,193\Omega \times 0,36)$$

$$Z = 1,169 < 42,435^\circ \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Lubeg 1

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Minggu/31 Oktober 2021). Dimana $\ell = 6,94 \text{ km}$, $R = 0,134 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 148 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times \ell \\ &= 3 \times 148^2 \text{ A} \times 0,134 \Omega/\text{km} \times 6,94 \text{ km} \\ &= 61.109,5315 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Lubeg 1 kabel A3C & A3CS 240 mm² adalah 61.109,5315 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Lubeg 1

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Minggu/31 Oktober 2021). Dimana $\ell = 6,94 \text{ km}$, $R = 0,134 \Omega/\text{km} \times 6,94 \text{ km} = 0,929 \Omega$, $X = 0,316 \Omega/\text{km} \times 6,94 \text{ km} = 2,193 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$, $V_K = 20.000 \text{ Volt}$. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 148 \text{ A} \times (0,929 \Omega \times 0,93 + j2,193\Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 148 \text{ A} \times (0,863 \Omega + j0,789 \Omega) \\ &= 299,3107 < 42,435^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubeg 1 kabel A3C & A3CS 240 mm² adalah 299,3107 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubeg 1 kabel A3C & A3CS 240 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{299,3107 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 1,49 \% \end{aligned}$$

4.3.1.2 Perhitungan Pada Feeder Lubeg 1 Kabel SKTM 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Lubeg 1

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 2,05 \text{ km}$, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,05 \text{ km} = 0,256 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,097 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,05 \text{ km} = 0,198 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (0,256 \text{ } \Omega \times 0,93 + j 0,198 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 0,248 < 16,611^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Lubeg 1

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 2,05 \text{ km}$, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 148 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times \ell \\ &= 3 \times 148^2 \text{ A} \times 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,05 \text{ km} \\ &= 16.838,7 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Lubeg 1 kabel SKTM 240 mm² adalah 16.838,7 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Lubeg 1

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 2,05 \text{ km}$, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,05 \text{ km} = 0,256 \text{ } \Omega$, $X = 0,097 \text{ } \Omega/\text{km} \times 2,05 \text{ km} = 0,198 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$ VK = 20.000 Volt. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 148 \text{ A} \times (0,256 \text{ } \Omega \times 0,93 + j0,198 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 148 \text{ A} \times (0,238 + j0,071) \text{ } \Omega \end{aligned}$$

$$= 63,4979 < 16,611^\circ \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubeg 1 kabel SKTM 240 mm² adalah 63,4979 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubeg 1 kabel SKTM 240 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{63,4979 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 0,31 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di dapat total susut daya pada feeder Lubeg 1 adalah

$$\begin{aligned} P_{\text{losses total}} &= P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}} \\ &= 61.109,5315 \text{ Watt} + 16.838,7 \text{ Watt} \\ &= 77.948,2315 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder Lubeg 1 adalah

$$\begin{aligned} V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} \\ &= 299,3107 \text{ V} + 63,4979 \text{ V} \\ &= 362,8086 \text{ V} \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{362,8086 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 1,81 \% \end{aligned}$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$\begin{aligned} V_t &= V_k - V_d \\ &= 20.000 \text{ V} - 362,8086 \text{ V} = 19.637,1914 \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima adalah 19.637,1914 V.

4.3.2 Perhitungan Pada Feeder BLKI

4.3.2.1 Perhitungan Pada Feeder BLKI Kabel A3C & A3CS 70 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder BLKI

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 11,84$ km, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,84 \text{ km} = 5,458 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,84 \text{ km} = 4,226 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (5,458 \text{ } \Omega \times 0,93 + j4,226 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 5,298 < 16,684^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder BLKI

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 11,84$ km, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 118 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times \ell \\ &= 3 \times 118^2 \text{ A} \times 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,84 \text{ km} \\ &= 228.001,6912 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder BLKI kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 228.001,6912 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder BLKI

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 11,84$ km, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,84 \text{ km} = 5,458 \text{ } \Omega$, $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 11,84 \text{ km} = 4,226 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$, VK = 20.000 Volt. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 118 \text{ A} \times (5,458 \text{ } \Omega \times 0,93 + j4,226 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 118 \text{ A} \times (5,075 + j1,521) \text{ } \Omega \\ &= 1.081,5337 < 16,684^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder BLKI kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 1.081,5337 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder BLKI kabel A3C & A3CS 70 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$V_d (\%) = \frac{1.081,5337 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 5,40 \%$$

4.3.2.2 Perhitungan Pada Feeder BLKI Kabel A3CS 150 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder BLKI

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 8,53 \text{ km}$, $R = 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,53 \text{ km} = 1,842 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,330 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,53 \text{ km} = 2,814 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \phi = 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi)$$

$$Z = (1,842 \text{ } \Omega \times 0,93 + j2,814 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 1,99 < 30,598^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder BLKI

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 8,53 \text{ km}$, $R = 0,216 \text{ } \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 118 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$= 3 \times 118^2 \text{ A} \times 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,53 \text{ km}$$

$$= 76.694,0745 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder BLKI kabel A3CS 150 mm² adalah 76.694,0745 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder BLKI

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 8,53 \text{ km}$, $R = 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,53 \text{ km} = 1,842 \text{ } \Omega$, $X = 0,330 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,53 \text{ km} = 2,814 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi = 0,93$, $V_K = 20.000 \text{ Volt}$.
Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 118 \text{ A} \times (1,842 \text{ } \Omega \times 0,93 + j2,814 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 118 \text{ A} \times (1,713 + j1,013) \text{ } \Omega \\ &= 406,2386 < 30,598^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder BLKI kabel A3CS 150 mm² adalah 406,2386 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder BLKI kabel A3CS 150 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{406,2386 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 2,03 \text{ \%} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder BLKI adalah

$$\begin{aligned} P_{\text{losses total}} &= P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}} \\ &= 228.001,6912 \text{ Watt} + 76.694,0745 \text{ Watt} \\ &= 304.695,7657 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder BLKI adalah

$$\begin{aligned} V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} \\ &= 1.081,5337 \text{ V} + 406,2386 \text{ V} \\ &= 1.487,7723 \text{ V} \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{1.487,7723 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 7,43 \%$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$V_t = V_k - V_d$$

$$= 20.000 \text{ V} - 1.487,7723 \text{ V} = 18.512,2277 \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder BLKI adalah 18.512,2277 V.

4.3.3 Perhitungan Pada Feeder Kuranji

4.3.3.1 Perhitungan Pada Feeder Kuranji Kabel A3C & A3CS 150 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Kuranji

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 10,97 \text{ km}$, $R = 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,97 \text{ km} = 2,369 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,330 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,97 \text{ km} = 3,620 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (2,369 \text{ } \Omega \times 0,93 + j3,620 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 2,559 < 30,603^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Kuranji

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 10,97 \text{ km}$, $R = 0,216 \text{ } \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 67 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$= 3 \times 67^2 \text{ A} \times 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,97 \text{ km}$$

$$= 31.910,3258 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Kuranji Kabel A3C & A3CS 150 mm² adalah 31.910,3258 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Kuranji

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 10,97 \text{ km}$, $R = 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,97 \text{ km} = 2,369 \text{ } \Omega$, $X = 0,330$

$\Omega/\text{km} \times 10,97 \text{ km} = 3,620 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$, $V_K = 20.000 \text{ Volt}$.
Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 67 \text{ A} \times (2,369 \Omega \times 0,93 + j3,620 \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 67 \text{ A} \times (2,203 + j1,303) \Omega \\ &= 296,6136 < 30,603^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Kuranji Kabel A3C & A3CS 150 mm^2 adalah $296,6136 \text{ V}$.

Presentasi drop tegangan menggunakan pada feeder Kuranji Kabel A3C 150 mm^2 persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_K} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{296,6136 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 1,48 \% \end{aligned}$$

4.3.3.2 Perhitungan Pada Feeder Kuranji Kabel A3C & A3CS 70 mm^2

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Kuranji

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 8,20 \text{ km}$, $R = 0,461 \Omega/\text{km} \times 8,20 \text{ km} = 3,780 \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,357 \Omega/\text{km} \times 8,20 \text{ km} = 2,927 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} Z &= (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ Z &= (3,780 \Omega \times 0,93 + j2,927 \Omega \times 0,36) \\ Z &= 3,669 < 16,677^\circ \Omega \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Kuranji

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 8,20 \text{ km}$, $R = 0,461 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 67 A . Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$= 3 \times 67^2 \text{ A} \times 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,20 \text{ km}$$

$$= 50.907,9534 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Kuranji Kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 50.907,9534 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Kuranji

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 8,20 \text{ km}$, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,20 \text{ km} = 3,780 \text{ } \Omega$, $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,20 \text{ km} = 2,927 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi = 0,93$, $V_K = 20.000 \text{ Volt}$. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$V_d = \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$= 1,73 \times 67 \text{ A} \times (3,780 \text{ } \Omega \times 0,93 + j2,927 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$= 1,73 \times 67 \text{ A} \times (3,515 + j1,053) \text{ } \Omega$$

$$= 425,2737 < 16,677^\circ \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Kuranji Kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 425,2737 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Kuranji Kabel A3C 70 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$V_d (\%) = \frac{425,2737 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 2,12 \%$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder Kuranji adalah

$$P_{\text{losses total}} = P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}}$$

$$= 31.910,3258 \text{ Watt} + 50.907,9534 \text{ Watt}$$

$$= 82.818,2114 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder Kuranji adalah

$$V_d \text{ total} = V_{d1} + V_{d2}$$

$$= 296,6136 \text{ V} + 425,2737 \text{ V}$$

$$= 721,8873 \text{ V}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{721,8873 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 3,60 \% \end{aligned}$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$\begin{aligned} V_t &= V_k - V_d \\ &= 20.000 \text{ V} - 721,8873 \text{ V} = 19.278,1127 \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder Kuranji adalah 19.278,1127 V.

4.3.4 Perhitungan Pada Feeder Lubuk Peraku

4.3.4.1 Perhitungan Pada Feeder Lubuk Peraku Kabel A3C 70 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Lubuk Peraku

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 12,75 \text{ km}$, $R = 0,461 \Omega/\text{km} \times 12,75 \text{ km} = 5,8777 \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,357 \Omega/\text{km} \times 12,75 \text{ km} = 4,5517 \Omega$, dan $\text{Cos } \phi = 0,95$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} Z &= (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi) \\ Z &= (5,877 \Omega \times 0,95 + j4,551 \Omega \times 0,31) \\ Z &= 5,758 < 14,174^\circ \Omega \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Lubuk Peraku

Sampel pada jam 14.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 12,75 \text{ km}$, $R = 0,461 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 86 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times L \\ &= 3 \times 86^2 \text{ A} \times 0,461 \Omega/\text{km} \times 12,75 \text{ km} \\ &= 130.415,517 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Lubuk Peraku kabel A3C

70 mm² adalah sebesar 130.415,517 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Lubuk Peraku

Sampel pada jam 14.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 12,75$ km, $R = 0,461 \Omega/\text{km} \times 12,75 \text{ km} = 5,8777 \Omega$, $X = 0,357 \Omega/\text{km} \times 12,75 \text{ km} = 4,5517 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi = 0,95$, $V_K = 20.000$ Volt.
Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)s

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 86 \text{ A} \times (5,877 \Omega \times 0,95 + j4,551 \Omega \times 0,31) \\ &= 1,73 \times 86 \text{ A} \times (5,583 + j1,410) \Omega \\ &= 856,6752 < 14,174^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubuk Peraku kabel A3C 70 mm² adalah 856,6752 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubuk Peraku kabel A3C 70 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_K} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{856,6752 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 4,28\% \end{aligned}$$

4.3.4.2 Perhitungan Pada Feeder Lubuk Peraku Kabel A3CS 150 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Lubuk Peraku

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 8,65$ km, $R = 0,216 \Omega/\text{km} \times 8,65 \text{ km} = 1,868 \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,330 \Omega/\text{km} \times 8,65 \text{ km} = 2,854 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi = 0,95$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} Z &= (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ Z &= (1,868 \Omega \times 0,95 + j2,854 \Omega \times 0,31) \\ Z &= 1,982 < 26,487^\circ \Omega \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Lubuk Peraku

Sampel pada jam 22.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 8,65$ km, $R = 0,206$ Ω /km, Beban penyulang = 86 A.
Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times \ell \\ &= 3 \times 86^2 \text{ A} \times 0,216 \text{ } \Omega/\text{km} \times 8,65 \text{ km} \\ &= 41.456,092 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Lubuk Peraku kabel A3CS 150 mm² adalah 41.456,092 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Lubuk Peraku

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 8,65$ km, $R = 0,206$ Ω /km \times 8,65 km = 1,781 Ω , $X = 0,129$ Ω /km \times 8,65 km = 1,115 Ω , dan $\text{Cos } \varphi = 0,95$, $V_K = 20.000$ Volt.
Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 86 \text{ A} \times (1,868 \text{ } \Omega \times 0,95 + j2,854 \text{ } \Omega \times 0,31) \\ &= 1,73 \times 86 \text{ A} \times (1,774 + j 0,884) \text{ } \Omega \\ &= 294,8819 < 26,487^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubuk Peraku kabel A3CS 150 mm² adalah 294,8819 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubuk Peraku kabel A3CS 150 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{294,8819 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 1,47 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder Lubuk Peraku adalah

$$\begin{aligned}
 P_{\text{losses total}} &= P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}} \\
 &= 130.415,517 \text{ Watt} + 41.456,092 \text{ Watt} \\
 &= 171.871,609 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder Lubuk Peraku adalah

$$\begin{aligned}
 V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} \\
 &= 856,6752 \text{ V} + 294,8819 \text{ V} \\
 &= 1.151,5571 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\
 V_d (\%) &= \frac{1.151,5571 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\
 &= 5,56 \%
 \end{aligned}$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$\begin{aligned}
 V_t &= V_k - V_d \\
 &= 20.000 \text{ V} - 1.151,5571 \text{ V} = 18.848,4429 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder Lubuk Peraku adalah 18.848,4429 V.

4.3.5 Perhitungan Pada Feeder Lubeg 2

4.3.5.1 Perhitungan Pada Feeder Lubeg 2 Kabel A3C 70 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Lubeg 2

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 7,00 \text{ km}$, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,00 \text{ km} = 3,227 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,00 \text{ km} = 2,499 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \phi = 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned}
 Z &= (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi) \\
 Z &= (3,227 \text{ } \Omega \times 0,93 + j2,499 \text{ } \Omega \times 0,36) \\
 Z &= 3,133 < 16,676^\circ \text{ } \Omega
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Lubeg 2

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).

Dimana $\ell = 7,00$ km, $R = 0,461$ Ω/km , Beban penyulang = 121 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times \ell \\ &= 3 \times 121^2 \text{A} \times 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 7,00 \text{ km} \\ &= 141.739,521 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Lubeg 2 Kabel A3C 70 mm² adalah 141.739,521 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Lubeg 2

Sampel pada jam 08.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 7,00$ km, $R = 0,461$ $\Omega/\text{km} \times 7,00$ km = 3,227 Ω , $X = 0,357$ $\Omega/\text{km} \times 7,00$ km = 2,499 Ω , $V_k = 20.000$ Volt. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi) \\ &= 1,73 \times 121 \text{ A} \times (3,227 \text{ } \Omega \times 0,93 + j2,499 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 121 \text{ A} \times (3,001 + j0,899) \text{ } \Omega \\ &= 655,8308 < 16,676^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubeg 2 Kabel A3C 70 mm² adalah 655,8308 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubeg 2 Kabel A3C 70 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{655,8308 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 3,27 \% \end{aligned}$$

4.3.5.2 Perhitungan Pada Feeder Lubeg 2 Kabel SKTM 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Lubeg 2

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 0,30$ km, $R = 0,125$ $\Omega/\text{km} \times 0,30$ km = 0,037 Ω . Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,097$ $\Omega/\text{km} \times 0,30$ km = 0,029 Ω , dan $\cos \varphi$ 0,93. Dan untuk

perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi)$$

$$Z = (0,037 \Omega \times 0,93 + j 0,029 \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 0,035 < 16,39^\circ \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Lubeg 2

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).

Dimana $\ell = 0,30$ km, $R = 0,125 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 121 A.

Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$= 3 \times 121^2 \text{ A} \times 0,125 \Omega/\text{km} \times 0,30 \text{ km}$$

$$= 1.647,1125 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Lubeg 2 Kabel SKTM 240 mm² adalah 1.647,1125 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Lubeg 2

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).

Dimana $\ell = 0,30$ km, $R = 0,125 \Omega/\text{km} \times 0,30 \text{ km} = 0,0375 \Omega$, $X = 0,097 \Omega/\text{km} \times 0,30 \text{ km} = 0,0291 \Omega$, $V_k = 20.000$ Volt. Perhitungan drop tegangan

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$V_d = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi)$$

$$= 1,73 \times 121 \text{ A} \times (0,037 \Omega \cdot 0,93 + j 0,029 \Omega \cdot 0,36)$$

$$= 1,73 \times 121 \text{ A} \times (0,034 + j 0,010) \Omega$$

$$= 7,326 < 16,39^\circ \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubeg 2 Kabel SKTM 240 mm² adalah 7,326 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubeg 2 Kabel SKTM 240 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$V_d (\%) = \frac{7,326 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 0,036 \%$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder Lubuk Peraku adalah

$$\begin{aligned} P_{\text{losses total}} &= P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}} \\ &= 141.739,521 \text{ Watt} + 1.647,1125 \text{ Watt} \\ &= 143.386,6335 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder Lubuk Peraku adalah

$$\begin{aligned} V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} \\ &= 655,8308 \text{ V} + 7,326 \text{ V} \\ &= 663,1568 \text{ V} \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{663,1568 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 3,31 \% \end{aligned}$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$\begin{aligned} V_t &= V_k - V_d \\ &= 20.000 \text{ V} - 663,1568 \text{ V} = 19.336,8432 \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder Lubuk Peraku adalah 19.336,8432 V.

4.3.6 Perhitungan Pada Feeder UNAND

4.3.6.1 Perhitungan Pada Feeder UNAND Kabel A3C & A3CS 70 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder UNAND

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 10,87 \text{ km}$, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,87 \text{ km} = 5,011 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,87 \text{ km} = 3,880 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \phi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi)$$

$$Z = (5,011 \Omega \times 0,93 + j3,880 \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 4,865 < 16,677^\circ \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder UNAND

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 10,87$ km, $R = 0,461 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 49 A.
Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times \ell$$

$$= 3 \times 49^2 \text{ A} \times 0,461 \Omega/\text{km} \times 10,87 \text{ km}$$

$$= 36.094,7372 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder UNAND kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 36.094,7372 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder UNAND

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 10,87$ km, $R = 0,461 \Omega/\text{km} \times 10,87 \text{ km} = 5,011 \Omega$, $X = 0,357 \Omega/\text{km} \times 10,87 \text{ km} = 3,880 \Omega$, dan $\cos \varphi 0,93$, $V_K = 20.000$ Volt.
Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$V_d = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi)$$

$$= 1,73 \times 49 \text{ A} \times (5,011 \Omega \times 0,93 + j3,880 \Omega \times 0,36)$$

$$= 1,73 \times 49 \text{ A} \times (4,660 + j 1.396) \Omega$$

$$= 412,4060 < 16,679^\circ \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Lubeg 2 kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 412,4060 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Lubeg 2 kabel A3C 70 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$V_d (\%) = \frac{412,4060 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 2,06 \%$$

4.3.6.2 Perhitungan Pada Feeder UNAND Kabel A3C & A3CS 150 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder UNAND

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 3,34$ km, $R = 0,216 \Omega/\text{km} \times 3,34 \text{ km} = 0,721 \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,330 \Omega/\text{km} \times 3,34 \text{ km} = 1,102 \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi$ 0,93. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (0,721 \Omega \times 0,93 + j1,102 \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 0,778 < 30,585^\circ \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder UNAND

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 1,34$ km, $R = 0,216 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 49 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times L \\ &= 3 \times 49^2 \text{ A} \times 0,216 \Omega/\text{km} \times 3,34 \text{ km} \\ &= 5.196,5323 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder UNAND kabel A3C & A3CS 150 mm² adalah 5.196,5323 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder UNAND

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 3,34$ km, $R = 0,216 \Omega/\text{km} \times 3,34 \text{ km} = 0,721 \Omega$, $X = 0,330 \Omega/\text{km} \times 3,34 \text{ km} = 1,102 \Omega$, $V_K = 20.000$ Volt. Perhitungan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 49 \text{ A} \times (0,721 \Omega \times 0,93 + j1,102 \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 49 \text{ A} \times (0,670 + j0,396) \Omega \\ &= 65,9510 < 30,68^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder UNAND kabel A3C & A3CS 150 mm² adalah 65,9510 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder UNAND kabel A3C & A3CS 150 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_k} \times 100\%$$

$$V_d (\%) = \frac{65,9510 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 0,32 \%$$

4.3.6.3 Perhitungan Pada Feeder UNAND Kabel SKTM 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder UNAND

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 0,64$ km, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,64 \text{ km} = 0,08 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,097 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,64 \text{ km} = 0,062 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (0,08 \text{ } \Omega \times 0,93 + j0,062 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 0,077 < 16,557^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder UNAND

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 0,64$ km, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 49 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times L$$

$$= 3 \times 49^2 \text{ A} \times 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,64 \text{ km}$$

$$= 576,24 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder UNAND kabel SKTM 240 mm² adalah 576,24 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder UNAND

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).

Dimana $\ell = 0,64 \text{ km}$, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,64 \text{ km} = 0,08 \text{ } \Omega$, $X = 0,097 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,64 \text{ km} = 0,062 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi = 0,93$, $V_k = 20.000 \text{ Volt}$. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 49 \text{ A} \times (0,08 \text{ } \Omega \times 0,93 + j0,062 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 49 \text{ A} \times (0,074 + j0,022) \text{ } \Omega \\ &= 6,5272 < 16,557^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder UNAND kabel SKTM 240 mm² adalah 6,5272 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder UNAND kabel SKTM 240 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{6,5272 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 0,032 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder UNAND adalah

$$\begin{aligned} P_{\text{losses total}} &= P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}} + P_{\text{losses3}} \\ &= 36.094,7372 \text{ Watt} + 5.196,5323 \text{ Watt} + 576,24 \text{ Watt} \\ &= 41.867,5095 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder UNAND adalah

$$\begin{aligned} V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} + V_{d3} \\ &= 412,4060 \text{ V} + 65,9510 \text{ V} + 6,5272 \text{ V} \\ &= 484,8842 \text{ V} \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{484,8842 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 2,42 \% \end{aligned}$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$V_t = V_k - V_d$$

$$= 20.000 - 484,8842 = 19.515,1158 \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder Lubuk Peraku adalah 19.515,1158 V.

4.3.7 Perhitungan Pada Feeder Limau Manis

4.3.7.1 Perhitungan Pada Feeder Limau Manis Kabel A3C & A3CS 70 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Limau Manis

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 15,30 \text{ km}$, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 15,30 \text{ km} = 7,053 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 15,30 \text{ km} = 5,462 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (7,053 \text{ } \Omega \times 0,93 + j5,462 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 6,847 < 16,686^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Limau Manis

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 15,30 \text{ km}$, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 85 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times L$$

$$= 3 \times 85^2 \text{ A} \times 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 15,30 \text{ km}$$

$$= 152.880,2775 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder Limau Manis kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 152.880,2775 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Limau Manis

Sampel pada jam 14.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 15,30 \text{ km}$, $R = 0,461 \text{ } \Omega/\text{km} \times 15,30 \text{ km} = 7,053 \text{ } \Omega$, $X = 0,357 \text{ } \Omega/\text{km} \times 15,30 \text{ km} = 5,462 \text{ } \Omega$, dan $\text{Cos } \varphi 0,93$, $V_K = 20.000 \text{ Volt}$. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned}
 V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi) \\
 &= 1,73 \times 85 \times (7,053 \, \Omega \times 0,93 + j5,462 \, \Omega \times 0,36) \\
 &= 1,73 \times 85 \times (6,559 + j1,966) \, \Omega \\
 &= 1.006,8513 < 16,686^\circ \, V
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Limau Manis kabel A3C & A3CS 70 mm² adalah 1.006,8513 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Limau Manis kabel A3C & A3CS 70 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\
 V_d (\%) &= \frac{1.006,8513 \, V}{20.000 \, V} \times 100\% \\
 &= 5,03 \, \%
 \end{aligned}$$

4.3.7.2 Perhitungan Pada Feeder Limau Manis Kabel A3CS 150 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Limau Manis

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 7,02 \, \text{km}$, $R = 0,216 \, \Omega/\text{km} \times 7,02 \, \text{km} = 1,516 \, \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,330 \, \Omega/\text{km} \times 7,02 \, \text{km} = 2,316 \, \Omega$ dan $\cos \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned}
 Z &= (R \times \cos \varphi + jX \times \sin \varphi) \\
 Z &= (1,516 \, \Omega \times 0,93 + j2,316 \, \Omega \times 0,36) \\
 Z &= 1,637 < 30,592^\circ \, \Omega
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Limau Manis

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 7,02 \, \text{km}$, $R = 0,216 \, \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 85 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned}
 P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times L \\
 &= 3 \times 85^2 \text{A} \times 0,216 \, \Omega/\text{km} \times 7,02 \, \text{km} \\
 &= 32.866,236 \, \text{Watt}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Limau Manis kabel A3CS

150 mm² adalah 32.866,236 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Limau Manis

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 7,02$ km, $R = 0,216 \Omega/\text{km} \times 7,02 \text{ km} = 1,516 \Omega$, $X = 0,330 \Omega/\text{km} \times 7,02 \text{ km} = 2,316 \Omega$ dan $\text{Cos } \phi 0,93$, $V_K = 20.000$ Volt. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi) \\ &= 1,73 \times 85 \text{ A} \times (1,516 \Omega \times 0,93 + j2,316 \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 85 \text{ A} \times (1,409 + j0,833) \Omega \\ &= 240,7208 < 30,592^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan daya pada feeder Limau Manis kabel A3CS 150 mm² adalah 240,7208 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Limau Manis kabel A3CS 150 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_K} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{240,7208 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 1,20 \% \end{aligned}$$

4.3.7.3 Perhitungan Pada Feeder Limau Manis Kabel A3CS 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Limau Manis

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 0,20$ km, $R = 0,125 \Omega/\text{km} \times 0,20 \text{ km} = 0,025 \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,097 \Omega/\text{km} \times 0,20 \text{ km} = 0,019 \Omega$ dan $\text{Cos } \phi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned} Z &= (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi) \\ Z &= (0,025 \Omega \times 0,93 + j0,019 \Omega \times 0,36) \\ Z &= 0,022 < 15,945^\circ \Omega \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Limau Manis

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).

Dimana $\ell = 0,20$ km, $R = 0,125$ Ω/km , Beban penyulang = 85 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times L \\ &= 3 \times 85^2 \text{A} \times 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,20 \text{ km} \\ &= 541,875 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Limau Manis kabel A3CS 240 mm² adalah 541,875 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Limau Manis

Sampel pada jam 19.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 0,20$ km, $R = 0,125$ $\Omega/\text{km} \times 0,20$ km = 0,025 Ω , $X = 0,097$ $\Omega/\text{km} \times 0,20$ km = 0,019 Ω dan $\text{Cos } \phi$ 0,93, $V_K = 20.000$ Volt. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi) \\ &= 1,73 \times 85 \text{ A} \times (0,025 \text{ } \Omega \times 0,93 + j0,019 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 85 \text{ A} \times (0,021 + j 0,006) \text{ } \Omega \\ &= 3,2351 < 15,945^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Limau Manis kabel A3CS 240 mm² adalah 3,2351 V.

Presentasi drop tegangan feeder Limau Manis kabel A3CS 240 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_K} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{3,2351 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\ &= 0,016 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder Limau Manis adalah

$$\begin{aligned} P_{\text{losses total}} &= P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}} + P_{\text{losses3}} \\ &= 152.880,2775 \text{ Watt} + 32.866,236 \text{ Watt} + 541,875 \text{ Watt} \\ &= 186.288,3885 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder Limau Manis adalah

$$\begin{aligned}
 V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} + V_{d3} \\
 &= 1.006,8513 \text{ V} + 240.7208 \text{ V} + 3,2351 \text{ V} \\
 &= 1.250,8072 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\
 V_d (\%) &= \frac{1.250,8072 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\
 &= 6,25 \%
 \end{aligned}$$

Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$\begin{aligned}
 V_t &= V_k - V_d \\
 &= 20.000 \text{ V} - 1.250,8072 \text{ V} = 18.749,1928 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder Limau Manis adalah 18.749,1928 V.

4.3.8 Perhitungan Pada Feeder Teluk Bayur

4.3.8.1 Perhitungan Pada Feeder Teluk Bayur Kabel A3C & A3CS 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Teluk Bayur

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 10,71 \text{ km}$, $R = 0,134 \Omega/\text{km} \times 10,71 \text{ km} = 1,435 \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,316 \Omega/\text{km} \times 10,71 \text{ km} = 3,384 \Omega$ dan $\text{Cos } \phi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$\begin{aligned}
 Z &= (R \times \text{Cos } \phi + jX \times \text{Sin } \phi) \\
 Z &= (1,435 \Omega \times 0,93 + j3,384 \Omega \times 0,36) \\
 Z &= 1,806 < 42,397^\circ \Omega
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Susut Daya Feeder Teluk Bayur

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 10,71 \text{ km}$, $R = 0,134 \Omega/\text{km}$, Beban penyulang = 117 A. Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$P_{\text{losses}} = 3 \times I^2 \times R \times L$$

$$= 3 \times 117^2 \text{A} \times 0,134 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,71 \text{ km}$$

$$= 58.936,8943 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Teluk Bayur kabel A3C & A3CS 240 mm² adalah 58.936,8943 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Teluk Bayur

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022). Dimana $\ell = 10,71 \text{ km}$, $R = 0,134 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,71 \text{ km} = 1,435 \text{ } \Omega$, $X = 0,316 \text{ } \Omega/\text{km} \times 10,71 \text{ km} = 3,384 \text{ } \Omega$ dan $\text{Cos } \varphi 0,93$, $V_K = 20.000 \text{ Volt}$. Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$V_d = \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$= 1,73 \times 117 \text{ A} \times (1,435 \text{ } \Omega \times 0,93 + j3,384 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$= 1,73 \times 117 \text{ A} \times (1,334 + j1,218) \text{ } \Omega$$

$$= 365,5562 < 42,394^\circ \text{ V}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Teluk Bayur kabel A3C & A3CS 240 mm² adalah 365,5562 V.

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$V_d (\%) = \frac{V_d}{V_K} \times 100\%$$

$$V_d (\%) = \frac{365,5562 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\%$$

$$= 1,82 \%$$

4.3.8.2 Perhitungan Pada Feeder Teluk Bayur Kabel SKTM 240 mm²

1. Perhitungan Nilai R, X dan Z Feeder Teluk Bayur

Dimana nilai R (tahanan) kawat dari data yang diperoleh sepanjang saluran $\ell = 0,60 \text{ km}$, $R = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,60 \text{ km} = 0,012 \text{ } \Omega$. Nilai X (induktansi) kawat: $X = 0,097 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,60 \text{ km} = 0,058 \text{ } \Omega$ dan $\text{Cos } \varphi 0,93$. Dan untuk perhitungan Z (impedansi) didapat dari persamaan (2.11)

$$Z = (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi)$$

$$Z = (0,012 \text{ } \Omega \times 0,93 + j0,058 \text{ } \Omega \times 0,36)$$

$$Z = 0,023 < 61,189^\circ \text{ } \Omega$$

2. Perhitungan susut daya Feeder Teluk Bayur

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana $\ell = 0,60$ km, $R = 0,125$ Ω /km, Beban penyulang = 117 A.
Perhitungan susut daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{losses}} &= 3 \times I^2 \times R \times L \\ &= 3 \times 117^2 \text{A} \times 0,125 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,60 \text{ km} \\ &= 3.080,025 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat susut daya pada feeder Teluk Bayur kabel SKTM 240 mm² adalah 3.080,025 Watt.

3. Perhitungan Drop Tegangan Feeder Teluk Bayur

Sampel pada jam 20.00 WIB (Hari/tanggal : Senin/31 Januari 2022).
Dimana Dimana $\ell = 0,60$ km, $R = 0,125$ Ω /km x 0,60 km = 0,012 Ω , $X = 0,097$ Ω /km x 0,60 km = 0,058 Ω dan $\text{Cos } \varphi$ 0,93, $V_K = 20.000$ Volt.
Perhitungan drop tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14)

$$\begin{aligned} V_d &= \sqrt{3} \times I \times (R \times \text{Cos } \varphi + jX \times \text{Sin } \varphi) \\ &= 1,73 \times 117 \text{ A} \times (0,401 \text{ } \Omega \times 0,93 + j0,381 \text{ } \Omega \times 0,36) \\ &= 1,73 \times 117 \text{ A} \times (0,011 + j0,020) \text{ } \Omega \\ &= 4,6554 < 61,189^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat drop tegangan pada feeder Teluk Bayur kabel SKTM 240 mm² adalah 4,6554 V.

Presentasi drop tegangan pada feeder Teluk Bayur kabel SKTM 240 mm² menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned} V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_K} \times 100\% \\ V_d (\%) &= \frac{4,6554}{20.000} \times 100\% \\ &= 0,023 \% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total susut daya pada feeder Teluk Bayur adalah

$$P_{\text{losses total}} = P_{\text{losses1}} + P_{\text{losses2}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 58.936,8943 \text{ Watt} + 3.080,025 \text{ Watt} \\
 &= 62.016,9193 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat total drop tegangan pada feeder Teluk Bayur adalah

$$\begin{aligned}
 V_d \text{ total} &= V_{d1} + V_{d2} \\
 &= 365,5562 \text{ V} + 4,6554 \text{ V} \\
 &= 370,2116 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Presentasi drop tegangan menggunakan persamaan (2.15) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 V_d (\%) &= \frac{V_d}{V_k} \times 100\% \\
 V_d (\%) &= \frac{370,2116 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times 100\% \\
 &= 1,85 \%
 \end{aligned}$$

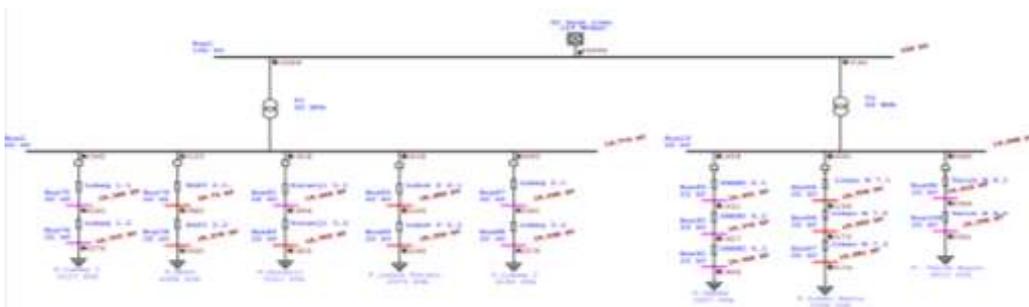
Tegangan yang diterima menggunakan persamaan (2.16) diperoleh,

$$\begin{aligned}
 V_t &= V_k - V_d \\
 &= 20.000 \text{ V} - 370,2116 \text{ V} = 19.629,7884 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapat tegangan yang diterima pada feeder Teluk Bayur adalah 19.629,788 V.

4.4 Simulasi Drop Tegangan dan Susut Daya Menggunakan Aplikasi Etap 12.6.0

Berikut dari hasil analisa aliran beban jaringan tegangan menengah 20kV Gardu Induk Pauh Limo dengan menggunakan software ETAP 12.6.0, Untuk lebih jelasnya seperti pada lampiran 2



Gambar 4.2 Hasil simulasi Drop Tegangan dan Susut Daya

4.5 Hasil dan Analisa

4.5.1 Hasil

Perhitungan susut daya diolah dengan menggunakan program ETAP 12.6.0 serta dengan perhitungan manual. Analisa yang diperoleh dengan perhitungan nilai beban, dan panjang penghantar yang di analisa manual maupun program dengan nilai beban yang berbeda dari setiap feeder dengan panjang penghantar yang sudah didapati, hasil perhitungan manual yang sudah dihitung kemudian akan dibandingkan dengan hasil menggunakan program ETAP 12.6.0.

Untuk hasil perhitungan susut daya dan drop tegangan menggunakan ETAP 12.6.0 seperti pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Drop Tegangan Dan Susut Daya Pada ETAP 12.6.0

No	CKT/Branch ID	From To Bus Flow		To From Bus Flow		Losses		%Bus Voltage		% Vd Drop in Vmag
		MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
1.	TD 1	15.306	6.883	-15.293	-6.438	13.1	445.8	100.0	98.9	1.13
2.	TD 2	7.193	3.055	-7.190	-2.958	2.8	96.7	100.0	99.5	0.51
3.	Lubeg 1.1	4.340	1.880	-4.292	-1.754	48.2	125.5	98.9	96.9	1.95
4.	Lubeg 1.2	4.292	1.754	-4.279	-1.830	13.4	-75.4	96.9	96.6	0.35
5.	BLKI 2.1	3.123	1.245	-2.980	-1.123	142.9	122.2	98.9	93.7	5.22
6.	BLKI 2.2	-2.930	-1.314	2.980	1.123	49.8	-191.4	91.4	93.7	2.26
7.	Kuranji 3.1	1.918	0.862	-1.894	-0.821	24.3	40.9	98.9	97.0	1.82
8.	Kuranji 3.2	1.894	0.821	-1.855	-0.788	38.7	33.1	97.0	94.8	2.29
9.	Lubuk Peraku 4.1	2.418	0.983	-2.326	-0.904	92.8	79.3	98.9	94.5	4.38
10.	Lubuk Peraku 4.2	2.326	0.904	-2.296	-0.854	29.5	49.7	94.5	92.8	1.71
11.	Lubeg 2.1	3.493	1.468	-3.381	-1.376	112.9	91.8	98.9	95.2	3.64
12.	Lubeg 2.2	3.381	1.376	-3.379	-1.387	1.2	-11.2	95.2	95.2	0.04
13.	UNAND 6.1	1.459	0.586	-1.431	-0.562	28.3	24.2	99.5	97.3	2.23

14.	UNAND 6.2	1.431	0.562	-1.427	-0.555	4.1	6.9	97.3	96.9	0.40
15.	UNAND 6.3	1.427	0.555	-1.426	-0.582	0.5	-26.8	96.9	96.8	0.04
16.	Limau Manis 7.1	2.291	0.803	-2.196	-0.722	95.1	81.3	99.5	94.7	4.76
17.	Limau Manis 7.2	2.196	0.722	-2.175	-0.921	21.2	-198.7	94.7	93.4	1.30
18.	Limau Manis 7.3	2.175	0.921	-2.174	-0.928	0.4	-7.6	93.4	93.4	0.02
19.	Teluk Bayur 8.1	3.440	1.568	-3.394	-1.446	46.9	122.2	99.5	97.1	2.43
20.	Teluk Bayur 8.2	3.394	1.446	-3.391	-1.470	2.5	-23.5	97.1	97.0	0.08

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Susut Daya

No	Penyulang	Panjang Saluran (kms)	R	I	Phasa	Plosses (W)
1	Lubeg 1	9,00	0,134 & 0,125	148	3	77.948,2315
2	BLKI	20,04	0,461 & 0,216	118	3	304.695,7657
3	Kuranji	19,20	0,216 & 0,461	65	3	82.818,2114
4	Lubuk Peraku	21,40	0,461 & 0,216	86	3	171.871,609
5	Lubeg 2	7,30	0,461 & 0,125	120	3	143.386,6335
6	UNAND	14,90	0,461, 0,216 & 0,134	49	3	41.867,5095
7	Limau Manis	22,50	0,461, 0,216 & 0,125	85	3	186.288,3885
8	Teluk Bayur	13,30	0.134 & 0,125	117	3	62.016,9193

Dari tabel diatas bahwa susut daya disebabkan karena semakin panjang jaringan yang ada maka nilai tahanan dan reaktansi jaringan semakin besar, sehingga rugi-rugi bertambah besar.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Drop Tegangan

No	Penyulang	Tegangan Kirim (V)	Tegangan Terima (V)	Vd	Vd%
1	Lubeg 1	20.000	19.637,1914	362,8086	1,81 %
2	BLKI	20.000	18.512,2277	1.487,7723	7,43 %
3	Kuranji	20.000	19.278,1127	721,8873	3,60 %
4	Lubuk Peraku	20.000	18.848,4429	1.151,5571	5,75 %
5	Lubeg 2	20.000	19.336,8432	663,1568	3,31 %
6	UNAND	20.000	19.515,1158	484,8842	2,42 %
7	Limau Manis	20.000	18.749,1928	1.250,8072	6,25 %
8	Teluk Bayur	20.000	19.629,7884	370,2116	1,85 %

Dari tabel dan hasil perhitungan yang telah didapat menunjukkan penurunan tegangan pada tiap penyulang setelah dilakukan perhitungan, tegangan jatuh pada jaringan distribusi disebabkan karena dimana nilai tersebut mempengaruhi nilai reaktansi dan nilai resistansi saluran, panjangnya penghantar serta nilai impedansi, semakin besar nilai pada reaktansi dan resistansi maka drop tegangan juga semakin besar.

4.5.2 Analisa

Dari tabel 4.5 nilai tegangan jatuh yang paling besar terjadi pada feeder BLKI dengan tegangan jatuh 1.487,7723 Volt atau 7,43%, Dengan tegangan kirim 20.000 volt dan tegangan terima 18.512,2277 Volt. Pada tabel 4.4 nilai tegangan jatuh pada simulasi ETAP 12.6, yaitu 1.496 Volt atau 7,48%, dengan tegangan kirim 19.774 volt dan tegangan terima 18.278 Volt pada saat beban puncak di jam 19.00 WIB yaitu sebesar 118 Ampere, yang artinya nilai tegangan diterima tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan melalui SPLN : 72 Tahun 1987 yaitu pada standar maksimal tegangan jatuh sebesar 5 % untuk jaringan tegangan menengah. Tegangan jatuh yang besar di feeder BLKI terjadi karena ukuran penampang kabel dan jauhnya jarak konduktor yang tidak sesuai dari Gardu Induk sampai ke konduktor dan beban tertinggi terjadi pada Jam 19.00 WIB.

Sedangkan nilai tegangan jatuh yang paling kecil terjadi pada feeder Lubeg 1 dengan drop tegangan 362,8086 Volt atau 1,81%, dengan tegangan kirim 20.000 Volt dan tegangan terima 19.637,1914 Volt. Pada simulasi ETAP 12.6 nilai drop tegangan yang paling kecil 459 Volt atau 2,29% pada saat beban puncak di jam 20.00 WIB yaitu sebesar 148 Ampere, yang artinya nilai tegangan terimanya sesuai dengan standar yang ditetapkan melalui SPLN : 72 Tahun 1987 yaitu pada standar maksimal tegangan jatuh sebesar 5 % untuk jaringan tegangan menengah. Tegangan jatuh yang besar di feeder Lubeg 1 terjadi karena ukuran kabel yang digunakan sesuai dengan jarak penghantar dari Gardu Induk sampai ke ujung penghantar dan beban tertinggi yang kecil pada saat Jam 20.00 WIB.

Dari tabel 4.6 bahwa nilai susut daya yang paling besar terjadi pada Feeder BLKI dengan susut daya (losses) 304,695 kW. Pada simulasi ETAP 12.6 didapat nilai susut daya 192,7 kW, susut daya yang besar pada feeder BLKI terjadi karena ukuran penampang kabel yang tidak sesuai dan jauhnya jarak penghantar yaitu 20,04 km dan beban puncak yang besar Pada saat jam 19.00 WIB yaitu 118 Ampere.

Sedangkan nilai susut daya yang paling kecil terjadi pada feeder UNAND dengan susut daya (losses) 41,554 kW. Pada simulasi ETAP 12.6 didapat nilai susut daya 32,9 kW, susut daya yang kecil pada feeder UNAND terjadi karena ukuran penampang kabel yang sesuai pada penghantar dan beban puncak yang kecil pada saat Jam 19.00 WIB yaitu 49 Ampere.