

Evaluasi Susut Daya Penyulang Cendana 20 kV pada Gardu Induk Bungaran dengan ETAP 12.6

Yessi Marniati*, Quratul Aini Hanifatulah

Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

E-mail: bulekpadang@yahoo.co.id

ABSTRACT

Power losses are a crucial issue for PLN. Rotating blackouts are then performed to prevent the system from total blackout. This causes the power which supplied to the consumer becomes smaller. The loss of power will always exist, because the equipment that used does not have 100% efficiency. Therefore, the authors evaluate the power losses that occurs by providing a comparison of calculations manually and calculations using ETAP 12.6 simulations. In the evaluation of power losses on the medium-voltage of the 20KV Cendana Feeders at Bungaran Substation, the calculations manually show that the daytime power loss is 7.2% and at night is 8.6%. While the ETAP 12.6 simulation shows that the daytime power loss is 7,15% and at night is 8,6%. Referring to SPLN 1: 1978 that the permitted power losses is only 2%, after the evaluation it is known that the power losses in Cendana Feeder has passed the permitted standard and should have network optimization.

Keywords: Feeder, power losses, substation.

ABSTRAK

Susut daya listrik merupakan persoalan krusial bagi PLN. Pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindari sistem mengalami pemadaman total. Hal ini menyebabkan daya listrik disuplai sampai di konsumen menjadi lebih kecil. Hilangnya daya akan selalu ada, karena peralatan yang digunakan tidak memiliki 100% tingkat efisiensi. Oleh karena itu, penulis mengevaluasi susut daya yang terjadi dengan memberikan perbandingan perhitungan secara manual dan perhitungan menggunakan simulasi ETAP 12.6. Dalam evaluasi susut daya pada jaringan tegangan menengah Penyulang Cendana 20KV pada Gardu Induk Bungaran, perhitungan secara manual menunjukkan bahwa susut daya pada siang hari adalah 7,2% dan pada malam hari adalah 8,6%. Sedangkan dengan simulasi ETAP 12.6 menunjukkan bahwa susut daya pada siang hari 7,15% dan pada malam hari adalah 8,6%. Merujuk pada SPLN 1:1978 bahwa susut daya yang diizinkan hanya sebesar 2%, setelah melakukan evaluasi diketahui bahwa susut daya pada Penyulang Cendana sudah melewati standard yang diizinkan dan sudah seharusnya dilakukan optimalisasi jaringan.

Kata kunci: Penyulang, susut daya, gardu induk..

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju lokasi konsumen. Jadi fungsi jaringan distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Pembangunan sistem distribusi tenaga listrik haruslah sesuai dengan standar seperti yang telah direncanakan PT. PLN (Persero) karena kualitas tenaga listrik yang diterima oleh pelanggan sangat dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi. Untuk pendistribusian energi listrik yang baik dan efisien, maka semua hal yang dapat menimbulkan

kerugian, baik berupa teknis maupun non teknis haruslah dikaji dengan baik. Kondisi jaringan distribusi yang tidak optimal akan mengakibatkan pelayanan yang kurang efektif, salah satunya karena akibat adanya susut daya. Susut daya atau rugi daya listrik adalah berkurangnya daya listrik dalam proses pendistribusian dari unit pembangkit menuju beban (konsumen), yang disebabkan oleh adanya tahanan jenis penghantar yang dipengaruhi oleh arus dan tegangan saat penyaluran energi listrik dilakukan. Secara umum penyusutan daya dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu : 1) Susut teknis, penyusutan teknik adalah penyusutan yang terjadi sebagai akibat adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat daya yang hilang. 2) Susut non teknis, penyusutan secara non teknis adalah susut yang disebabkan oleh kesalahan dalam pembacaan alat ukur, kesalahan kalibrasi di alat ukur, dan

kesalahan akibat pemakaian yang tidak sah (pencurian) atau kesalahan-kesalahan yang bersifat administratif lainnya. Akan tetapi penyusutan daya tidak mungkin di hindari karena pada peralatan tidak mungkin memiliki tingkat efisiensi 100%, namun yang perlu di perhatikan adalah apakah penyusutan yang terjadi di dalam batas kewajaran. Ini disebabkan karena pada jaringan distribusi tegangan yang dipakai berada dalam rentang tegangan menengah dan tegangan rendah.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penulisan jurnal ini antara lain: 1). Parameter resistansi dan reaktansi penyebab timbulnya susut daya pada Penyulang Cendana 20kV di Gardu Induk Bungaran., 2). Bagaimana besar nilai resistansi dan reaktansi penghantar yang digunakan pada Penyulang Cendana 20kV di Gardu Induk Bungaran. 3). Bagaimana perbandingan besarnya nilai susut daya secara perhitungan manual dan simulasi menggunakan software ETAP 12.6 pada Penyulang Cendana 20kV di Gardu Induk Bungaran.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan penulisan ini adalah: 1). Mengetahui parameter – parameter penyebab timbulnya susut daya pada Penyulang Cendana 20kV di Gardu Induk Bungaran. 2). Mengetahui besar nilai resistansi dan reaktansi penghantar yang digunakan pada Penyulang Cendana di Gardu Induk Bungaran. 3.) Mengetahui perbandingan besarnya nilai susut daya pada Penyulang Cendana 20 kV di Gardu Induk Bungaran secara perhitungan manual dan dengan software ETAP 12.6. Manfaat dari penulisan ini adalah: 1). Dapat mengevaluasi susut daya pada Penyulang Cendana 20kV di Gardu Induk Bungaran. 2). Dapat mengetahui kerugian PT. PLN (Persero) Rayon Ampera akibat adanya susut daya pada penyulang cendana 20kV di Gardu Induk Bungaran.

1.4 Metode Pembahasan

Metode yang digunakan dalam penulisan jurnal ini meliputi :

a. Metode Literatur

Penulis mengambil dan mengumpulkan teori – teori dasar serta teori pendukung dari berbagai sumber, terutama pemanfaatan referensi berupa buku – buku yang ada di Perpustakaan Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya serta

laporan yang bersifat ilmiah dari internet guna menunjang dalam analisa untuk penyelesaian penulisan ini

b. Metode Observasi

Penulis melakukan tinjauan secara langsung di PT. PLN (Persero) Rayon Ampera untuk mengumpulkan data-data sistem kelistrikan mengenai topik yang dibutuhkan.

c. Metode Konversi Data pada GPS

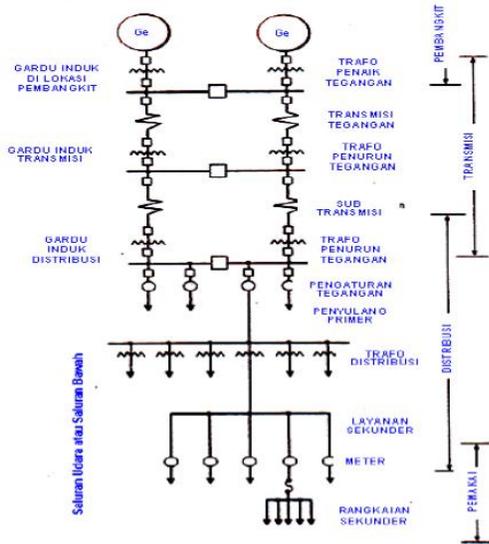
Pada metode ini, penulis mengkonversi data pada GPS dengan memplotkan data posisi gardu induk, rute, dan *track survey* untuk mendapatkan data terperinci dari panjang jaringan suatu penyulang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV ,154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh selalu digunakan tegangan setinggi mungkin dengan menggunakan trafo step – up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, dan EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain : berbahaya bagi lingkungan dan mahal nya harga perlengkapan - perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo *step down*. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda. Untuk kemudahan dan penyederhanaan di buatlah pembagian

dan batas-batas pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik yaitu : daerah I bagian pembangkitan (*Generation*), daerah II bagian penyaluran (*Transmission*) bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV) dan daerah III bagian distribusi primer bertegangan menengah (6 atau 20kV). Pembagian dari jaringan diatas dapat dijelaskan lebih lengkap melalui gambar 2.1 berikut ini:



Gambar.1 Pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik.

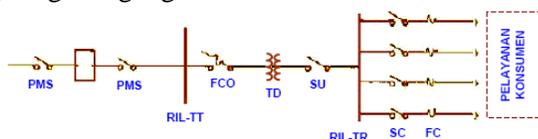
Untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian paling utama, yaitu:

a. Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari garduk induk sub transmisi ke garduk distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer. Biasanya, jaringan ini menggunakan enam jenis jaringan yaitu system radial dan system tertutup atau *loop ring*, *network spindle* dan *cluster*.

b. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan ini menggunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan perihal keadaan pelayanan dan regulasi tegangan, distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari garduk distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering digunakan pada jaringan tegangan rendah.



Gambar.2 Bagian – bagian jaringan distribusi

Keterangan :

- PMS = Pemisah Sendiri
- PMT = Pemutus Tenaga
- FCO = Fuse Cut Out
- Cabang
- FC = Fuse Cabang
- TD = Trafo Distribusi
- SU = Saklar Utama
- SC = Saklar Cabang

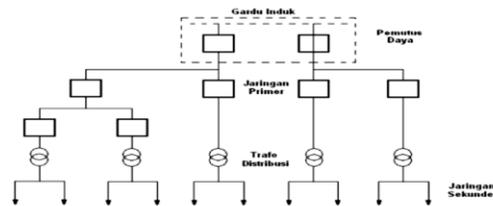
Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

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

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

a. Jaringan Distribusi Pola Radial.

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

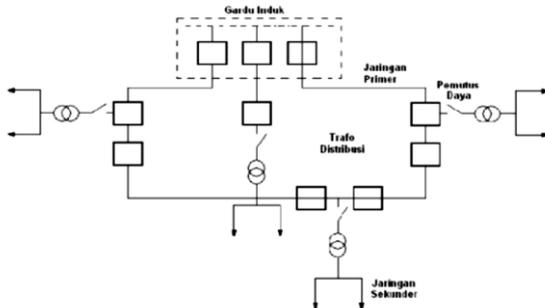


Gambar.3 Pola jaringan radial

b. Jaringan Distribusi Pola Loop

Jaringan pola *loop* adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian

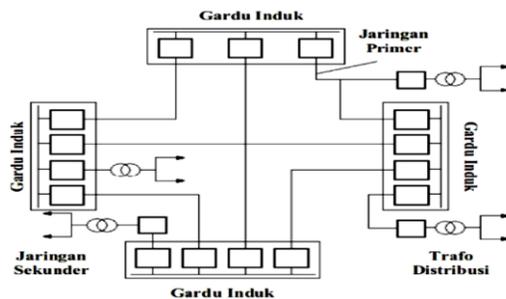
(saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial).



Gambar.4 Pola Jaringan Loop

c. Jaringan Distribusi Pola *Grid*

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut *tie feeder*. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.

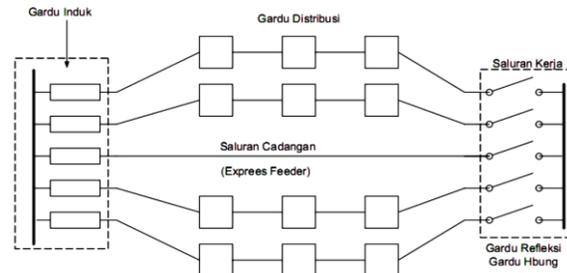


Gambar.5 Pola Jaringan Grid

d. Jaringan Distribusi Pola *Spindel*

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

bekerja secara radial dan dalam keadaan darurat bekerja secara *loop* melalui saluran cadangan dan GH.



Gambar.6 Sistem Jaringan Spindel

B. Jenis – Jenis Gardu Distribusi

Menurut sistem pemasangannya, gardu distribusi dibagi menjadi pemasangan luar dan pemasangan dalam. Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai masing jenis gardu distribusi menurut sistem pemasangannya :

a. Pemasangan luar

1. *Pole Mounting*

Gardu distribusi dan peralatannya dipasang langsung pada tiang, cara pemasangan ini cukup baik untuk trafo kecil sampai kapasitas 50 kVA.

2. *H-Pole Mounting*

Gardu distribusi ini dipasang pada lengan antara dua tiang, cara pemasangan ini baik untuk gardu berkapasitas sampai 200 kVA.

3. *Plat Form Mounting*

Gardu distribusi ini dipasang pada konstruksi tersendiri dari empat tiang untuk penempatan trafo, cara ini baik untuk tempat dimana diperlukan peralatan yang membahayakan. Kapasitas maksimal dari gardu ini adalah 200 kVA.

4. Pemasangan di Lantai

Gardu distribusi ini baik untuk semua ukuran gardu, tetapi biasanya untuk kapasitas daya lebih besar dari 250 kVA.

b. Pemasangan Dalam

Gardu distribusi pemasangan dalam memiliki jarak minimum sebagai persyaratan bangunan rumah trafo, yaitu sebagai berikut:

1. Jarak dari sisi dinding pada satu sisi minimum 1,25 m
2. Jarak dari sisi dinding pada dua sisi minimum 0,75 m
3. Jarak dari sisi dinding pada tiga sisi minimum 100 m
4. Jarak dari sisi minimum 1,25 m

Untuk mengoptimalkan fungsinya sebagai penyalur daya listrik, maka gardu distribusi dibentuk dalam beberapa tampilan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan beberapa faktor penyesuaian, seperti luas wilayah pemasangan, besarnya daya yang dibutuhkan atau pun kondisi alam dari daerah dimana gardu tersebut akan dipasang. Berdasarkan faktor – faktor tersebut, maka tampilan gardu distribusi terbagi dalam beberapa tampilan sebagai berikut :

1. Gardu Distribusi Beton

Gardu distribusi ini dikonstruksi dari beton dengan peralatan – peralatan listrik terdapat dalam gardu beton. Pada umumnya gardu ini dibangun untuk melayani beban yang besar dan diagram satu garis dari gardu distribusi tersebut.

2. Gardu Distribusi Tiang

Gardu ini merupakan gardu distribusi pasang luar karena perlengkapannya terdapat diluar yang dilengkapi dengan peralatan pengaman seperti *arrester*. Biasanya gardu tiang dipasang pada saluran udara tegangan menengah dengan jenis trafo pemasangan luar.

3. Gardu distribusi *Metal Clad*

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu besi termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan besi. Semua peralatan tersebut sudah di instalasi di dalam bangunan besi, sehingga dalam pembangunannya pelaksana pekerjaan tinggal menyiapkan pondasinya saja.

4. Gardu Mobil

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa sebuah mobil (diletakkan diatas mobil), sehingga bisa dipindah-pindah sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Oleh karenanya gardu mobil ini pada umumnya untuk pemakaian sementara (darurat), yaitu untuk mengatasi kebutuhan daya yang sifatnya temporer.

C. Parameter Saluran

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Nilai tahanan suatu penghantar dapat ditentukan dari persamaan:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dimana,

R = Resistansi kawat penghantar (Ohm/km)

ρ = Resistivitas penghantar (ohm.mm²/m)

l = panjang kawat (m)

A = luas penampang kawat (mm²)

Besarnya suatu resistansi atau tahanan dari suatu penghantar dapat berubah untuk setiap perubahan temperatur dalam perhitungan teknis, tahanan dapat dianggap linier untuk perubahan temperatur tertentu. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada suhu mendatar. Jika tahanan searah suatu penghantar pada suatu temperatur tertentu diketahui, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1}$$

Dimana,

R1 = Resistansi penghantar pada suhu t₁ (temperatur sebelum operasi konduktor)

R2 = Resistansi penghantar pada suhu t₂ (temperatur operasi konduktor)

t₁ = Temperatur awal (°C)

t₂ = Temperatur akhir (°C)

T = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

Reaktansi saluran (XL) dapat diperoleh setelah melakukan perhitungan induktansi saluran terlebih dahulu. Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \left(\frac{D-r}{r} \right) \right) \cdot 10^{-7} H/m$$

Dimana: D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut.

$$D = \sqrt[3]{D_{12} + D_{23} + D_{31}}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Dari persamaan di atas maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$XL = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Dimana,

XL = Reaktansi induktif saluran (Ohm/km)

2π = Sudut arus bolak balik

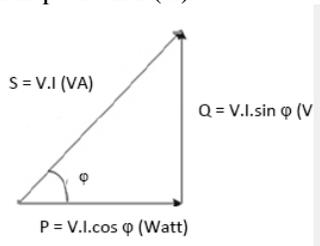
f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

D. Daya Listrik

Daya listrik adalah hasil kali antara tegangan dan arus listrik. Dalam implementasinya, terdapat beberapa

jenis daya yang digambarkan dalam sebuah grafik fungsi yang biasa disebut sebagai segitiga daya. Segitiga daya merupakan grafik hubungan yang terbentuk oleh tiga jenis daya yang diawali dari besaran listrik yang terjadi saat proses penyaluran, seperti tegangan dan arus listrik karena saat proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen, akan terdapat arus yang mengalir pada penghantar yang menghasilkan medan magnet dan terbentuklah nilai induktansi (L) selanjutnya pada penghantar tersebut juga terdapat tegangan yang menyebabkan terjadinya medan magnet sehingga timbulah nilai kapasitansi (C).



Gambar.7 Segitiga Daya

Berdasarkan Gambar 2.7 dijelaskan jenis – jenis daya yang biasanya muncul dalam sistem penyaluran tenaga listrik yaitu :

Daya Nyata / Daya Aktif

Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya.

L - N / 1 fasa ; $P = V_{L-N} \times I \times \cos \phi$

L - L/ 3 fasa ; $P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \phi$

Dimana:

V_{L-L} = Tegangan line-line (V)

V_{L-N} = Tegangan line-netral (V)

I = Arus yang melalui penghantar (A)

$\cos \phi$ = Faktor daya

P = Daya Nyata

Daya Semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

L - N / 1 fasa ; $S = V_{L-N} \times I$

L - L/ 3 fasa ; $S_3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I$

Dimana:

S = Daya Semu (VA)

I = Arus yang melalui penghantar (A)

V_{L-L} = Tegangan line-line (V)

V_{L-N} = Tegangan line-netral (V)

Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif

pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

L - N / 1 fasa ; $Q = V_{L-N} \times I \times \sin \phi$

L - L/ 3 fasa ; $Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \phi$

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan line-line (V)

V_{L-N} = Tegangan line-netral (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

$\sin \phi$ = Faktor daya

Q = Daya Reaktif (VAR)

E. Susut Daya Listrik

Susut daya atau hilang daya atau rugi daya listrik adalah berkurang atau hilangnya pasokan daya pada proses pengiriman daya listrik dari sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) pada penghantar. Susut daya listrik untuk saluran tiga fasa dinyatakan oleh persamaan :

$P_L = 3 I^2 R \ell$

Dimana :

P_L = Susut Daya (Watt)

R = Tahanan kawat per fasa (Ω / Km)

ℓ = Panjang saluran (Km)

I = Arus beban (A)

Susut daya atau hilang daya seperti yang dinyatakan diatas dihitung atas dasar I (arus) pada waktu tertentu. Berdasarkan SPLN 1:1978 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria susut daya yang dapat diizinkan tidak boleh lebih dari 2%.

Efisiensi atau daya guna saluran adalah perbandingan antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan. Adapun efisiensi dinyatakan oleh persamaan :

$\eta = \frac{P_r}{P_s} \times 100 \%$

$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_L} \times 100 \%$

Dimana :

P_r = Daya yang diterima (kW)

P_s = Daya yang dikirimkan (kW)

η = Effisiensi daya (%)

P_L = Rugi-rugi daya (kW)

F. ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur

yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamananan fasilitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

ETAP *Power Station* memungkinkan untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis . Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

1. *Virtual Reality Operasi*

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi *real* nya. Misalnya, ketika membuka atau menutup sebuah *circuit breaker*, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi *de-energized* pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar *single line diagram* dengan warna abu-abu.

2. *Total Integration Data*

ETAP *Power Station* menggabungkan informasi sistem elektrik, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem *database* yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan *ampacity derating* suatu kabel yang memerlukan data fisik *routing*.

3. *Simplicity in Data Entry*

ETAP *Power Station* memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan

menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

Elemen-elemen di ETAP

Suatu sistem tenaga terdiri atas sub-sub bagian, salah satunya adalah aliran daya dan hubung singkat. Untuk membuat simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka data-data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi antara lain:

1. Data Generator
2. Data Transformator
3. Data Kawat Penghantar
4. Data Beban
5. Data Bus

Elemen Aliran Daya

Program analisis aliran daya pada *software* ETAP dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada sistem tenaga listrik, dan aliran daya yang mengalir pada sistem tenaga listrik. Metode perhitungan aliran daya dapat dipilih untuk efisiensi perhitungan yang lebih baik. Metode perhitungan aliran daya pada *software* ETAP ada tiga, yaitu: *Newton Raphson*, *Fast-Decouple* dan *Gauss Seidel*.



Gambar.8 Toolbar *Load Flow* di ETAP

Gambar dari kiri ke kanan menunjukkan *tool* dan *toolbar* aliran daya, yaitu:

1. *Run Load Flow* adalah *icon toolbar* aliran daya yang menghasilkan atau menampilkan hasil perhitungan aliran daya sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram satu garis.
2. *Update Cable Load Current* adalah *icon toolbar* untuk merubah kapasitas arus pada kabel sebelum *load flow* di *running*
3. *Display Option* adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
4. *Alert* adalah *icon* untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
5. *Report Manager* adalah *icon* untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk report yang dapat dicetak.

Elemen Hubung Singkat

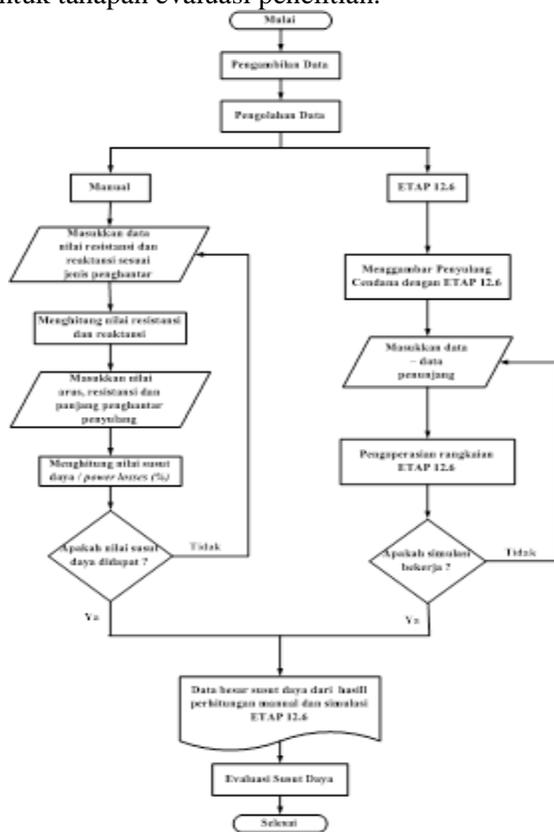
Short-Circuit Analysis pada ETAP *Power Station* menganalisa gangguan hubung singkat tiga fasa, satu fasa ke tanah, antar fasa dan dua fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik. Program *Short-Circuit Analysis* ETAP *Power Station* menghitung arus

total hubung singkat yang terjadi. ETAP *Power Station* menggunakan standar ANSI/IEEE (seri C37) dan IEC (IEC 909 dan lainnya) dalam menganalisa gangguan hubung singkat yang bisa dipilih sesuai dengan keperluan. Untuk memulai *Short-Circuit Analysis* maka *Single Line Diagram* (SLD) sistem tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen serta peralatan yang digunakan.

III. METODOLOGI

3.1 Bahan Penelitian

Penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di PT.PLN (Persero) Rayon Ampera dan gardu induk Bungaran dengan menggunakan peralatan dan bahan yang ada dan kemudian membuat simulasinya dengan menggunakan software ETAP 12.6. Tetapi sebelum dilaksanakan pengambilan data penulis membuat flowchart yang berfungsi untuk tahapan evaluasi penelitian.



Adapun peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Gardu Induk Bungaran

Gardu Induk Bungaran terletak di Jalan Bungaran, 8 Ulu, Seberang Ulu I, Palembang, Sumatera Selatan. Gardu Induk Bungaran ini masuk di wilayah Rayon Ampera. Gardu Induk Bungaran

adalah jenis gardu induk pasangan luar dan gardu induk penurun tegangan, dimana tegangan diturunkan dari 70kV menjadi 20kV menggunakan trafo penurun tegangan (trafo *step-down*) yang mana akan menyuplai listrik ke 7 penyulang, diantaranya Penyulang Tembesu, Penyulang Sungkai, Penyulang Pule, Penyulang Akasia, Penyulang Cendana, Penyulang Meranti, dan Penyulang Unglen.

Gardu Induk Bungaran Mempunyai 2 trafo daya yaitu:

1. Trafo Daya 1 (Pauwels)
Merupakan trafo daya dengan kapasitas 30 MVA / 70kV-20kV yang menyuplai empat penyulang yaitu Penyulang Cendana, Penyulang Akasia, Penyulang Tembesudan Penyulang Sungkai.
2. Trafo Daya 2 (Unindo)
Merupakan trafo daya dengan kapasitas 30 MVA / 70kV-20kV yang menyuplai dua penyulang yaitu Penyulang Unglen, Penyulang Pule dan Penyulang Meranti.

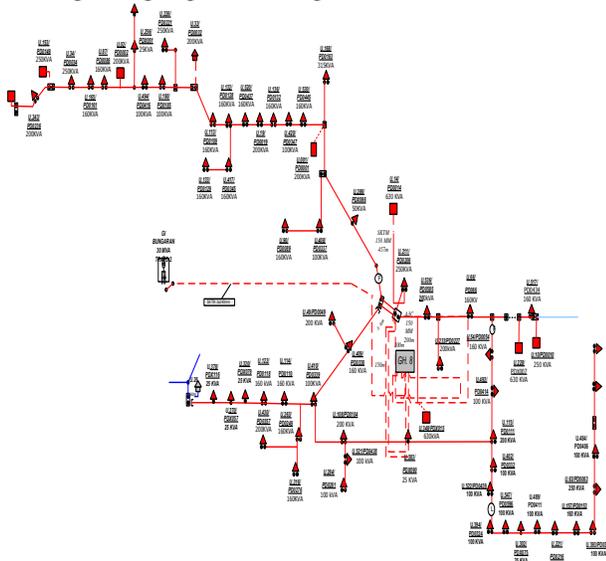
Berikut merupakan tabel data spesifikasi Trafo Daya 1 (30 MVA / 70kV-20kV) yang digunakan di Gardu Induk Bungaran untuk menyuplai listrik untuk Penyulang Cendana.

Tabel.1 Data Spesifikasi Transformator 1

No	Trafo 1 (30 MVA)	
1	Merk	Pauwels
2	Nomor Seri	3011120024
3	Tahun Pembuatan	2013
4	Standar	IEC 30076
5	Daya (MVA)	30
6	Rasio Tegangan (kV)	70/20
7	Sistem Pendingin	ONAN / ONAF
8	Frekuensi (Hz)	50
9	Simbol Koneksi	YNyn0
10	Impedansi Hubung Singkat (%)	12,9
11	Jumlah Fasa	3
12	Altitude maksimal (m)	1000
13	Level Insulasi	L1 325 AC 140 L1 125 AC 50
14	Suhu Maksimum (⁰ K)	Minyak : 50 Udara : 55
15	Tipe Minyak	NYNAS – LIBRA
16	Massa (Kg)	Tanki : 55100 Minyak : 11237 Lain-lain : 30400

B. Penyulang Cendana

Penulis akan membahas spesifik tentang evaluasi susut daya penyulang Cendana. Penyulang Cendana (Saluran Distribusi Primer 20 kV) adalah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Induk Bungaran ke setiap gardu distribusi atau pemakaian tegangan menengah area Seberang Ulu II dengan tegangan menengah 20kV.



Gambar.8 Single Line Diagram Penyulang Cendana

Panjang saluran Penyulang Cendana adalah 16,5 KMS (kilometer-sirkuit). Terdapat sebanyak 66 buah gardu distribusi di Penyulang Cendana. Dengan mayoritas pemakaian pelanggan rumah tangga.

Jenis penghantar yang digunakan pada Penyulang Cendana adalah AAAC (All Alloys Aluminium Conductor) 150mm² dan NA2XSEYBY 240mm².

Tabel.2 Jenis Penghantar Yang Digunakan

No	Jenis Penghantar	Panjang Penghantar (Km)
1	AAAC 150mm ²	13.2
2	NA2XSEYBY 240mm ²	3.3

Dalam menghitung besarnya susut daya pada jaringan menengah juga dibutuhkan resistansi dan reaktansi dari saluran tersebut. Dibawah ini merupakan tabel untuk nilai resistansi maupun reaktansi dari penghantar yang digunakan berdasarkan SPLN dan IEC.

Tabel. 3 Penghantar Kawat AAAC 20kV

1	2	3	4	5	6	7	8
Luas Penampang	Jumlah kawat dalam satu kawat n.d.l	Diameter kawat kira-kira d2	Diameter kawat kira-kira d1	Ukuran kawat	Tahanan DC, 20°C maksimum	Ukuran putus per kilometer	
7777 ²	7777 ²	mm	mm	Kg/km	Ohm/km	Kg	
16	16,81	7,1,75	5,25	46	±2,9	1955	480
25	27,81	7,2,25	6,75	76	±7,2	1183	790
35	34,36	7,2,3	7,50	54	±2,0	0,958	980
50	49,44	7,2,0	9,0	132	±2,0	0,666	1416
4	19,1,71	8,1,1	1,70	±1,9	0,774	1700	
55	38,04	7,2,25	9,75	190	±2,0	0,567	1655
70	75,55	19,2,25	11,25	208	±2,2	0,438	2150
85	85,21	19,2,5	12,5	256	±3,0	0,355	2666
100	99,00	7,4,25	12,75	272	±4,0	0,332	2830
120	112,85	19,2,75	13,75	310	±2,0	0,293	3220
150	157,4	19,2,25	16,25	331	±2,0	0,210	4190
181	191,1	37,2,25	15,75	400	±2,2	0,225	4190
185	181,6	17,2,5	17,5	501	±2,0	0,183	5175
240	283,4	19,4,0	20,0	670	±2,0	0,137	6800
242,5	61,2,25	20,2	657	±2,2	0,139	6916	
300	309,4	41,7,5	33,5	877	±3,0	0,111	8536
400	451,1	41,4,0	27	1191	±2,0	0,077	12290
500	506,0	61,5,25	39,25	1398	±2,0	0,066	14420
620	643,2	51,3,0	33,0	1702	±2,0	0,052	18330
800	754,9	91,2,25	45,75	2091	±2,0	0,044	21510
1000	1003,1	91,2,71	41,25	2784	±2,0	0,033	28640

Tabel. 4 Penghantar Kawat NA2XSEYBY (Al)

IEC 60228:2002-2
MEDIUM VOLTAGE ALUMINUM UNILAYERED POWER CABLES

TABLE 12 THREE- CORE 220 kV ARMORED CABLES (ALUMINUM CONDUCTORS)

Nominal Area Of Conductors	Thickness of Sheath	Thickness of Strand of Braid	Nominal Area Wire	Thickness of Outer Sheath	Overall Diameter	Approx. Weight	Electrical Characteristics					
							Current Rating	Conductor Resistance	Resistance of 50Hz	Capacitance		
kV/mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	A at 10°C	A at 25°C	Ω/km	Ω/km	μF/km	
35	5,5	1,5	2,5	2,8	62,8	5870	123	122	0,868	1,11	0,183	0,178
50	5,5	1,5	2,5	2,9	65,5	6310	149	144	0,841	0,821	0,127	0,124
70	5,5	1,6	2,5	3,0	69,1	6930	183	176	0,843	0,569	0,119	0,126
95	5,5	1,7	2,4	3,2	74,1	7670	231	207	0,570	0,476	0,111	0,140
120	5,5	1,7	3,2	3,3	77,9	9270	255	234	0,253	0,334	0,109	0,261
140	5,5	1,8	3,2	3,4	81,3	9940	284	261	0,106	0,264	0,105	0,28
185	5,5	1,9	3,2	3,6	85,0	10850	332	297	0,164	0,211	0,107	0,303
240	5,5	2,0	3,2	3,7	90,3	12080	361	342	0,175	0,160	0,098	0,314
300	5,5	2,0	3,2	3,9	95,4	13560	442	388	0,100	0,129	0,094	0,367

Tabel.5 Jarak Antar Konduktor

Konduktor	Jarak (mm)
Konduktor 1-2	800
Konduktor 2-3	800
Konduktor 1-3	1600

Tabel 6. Faktor Daya dan Beban

Nama Penyulang	Cos phi	Load Factor
Cendana	0,9	0,9

Kondisi beban pada evaluasi susut daya saluran distribusi Penyulang Cendana yang di suplai dari Gardu Induk Bungaran dikaji pada layanan penyaluran saat beban puncak. Hal ini penting dikarenakan pada layanan penyaluran saat beban puncak tersebut menyerap daya listrik yang besar sehingga harus mendapatkan layanan penyaluran daya yang cukup untuk semua kebutuhan beban yang ada. Data beban puncak yang

akan di pakai pada penulisan ini adalah data beban puncak pada saat layanan penyaluran siang dan malam bulan Februari 2017. Nilai beban puncak dapat dilihat pada tabel.7 berikut.

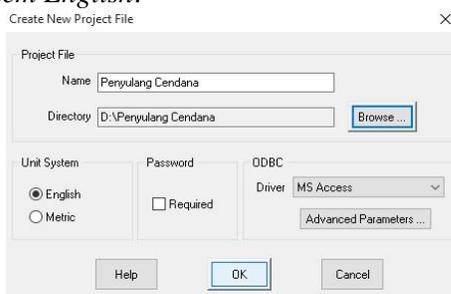
Tabel. 7 Beban Puncak Penyulang Cendana Februari 2017

No	P. Cendana		Beban Puncak Siang			Beban Puncak Malam		
	MVA	Set Rele	A	kV	MW	A	kV	MW
1	30	300	197	20	6,13	298	20	7,41

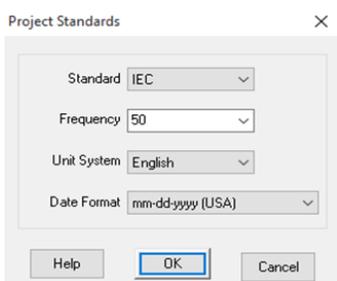
C. Langkah Simulasi ETAP 12.6

Sebelum menggambar *Single Line Diagram* pada ETAP 12.6 ada hal – hal penyetelan / *setting* yang harus dilakukan, diantaranya sebagai berikut :

1. Buka Software ETAP 12.6
2. Setelah Software ETAP 12.6 terbuka akan muncul jendela *Create New Project*. Masukkan nama proyek yang akan dilakukan dan direktori penyimpanannya.
3. Kemudian akan muncul jendela user information. Masukkan nama pembuat proyek dan centang semua pilihan *access level permission*
4. Mengatur *Project Standard* yang akan digunakan. Klik *Project* pada *Menu Bar*, kemudian klik *Standards*. Untuk simulasi kali ini, digunakan standard IEC dengan frekuensi 50Hz dan *Unit system English*.

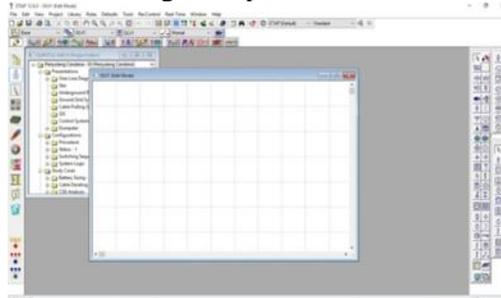


Gambar. 9 Input Nama Proyek dan Direktori penyimpanan



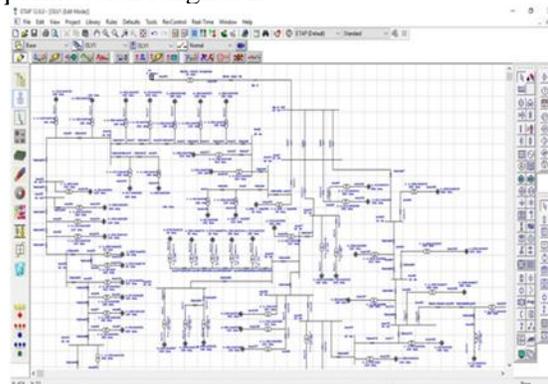
Gambar 10. Pengaturan *Project Standards* pada ETAP 12.6

5. Berikut merupakan tampilan pada software ETAP 12.6 dimana sudah bisa mulai melakukan permodelan rangkaian pada ETAP 12.6.

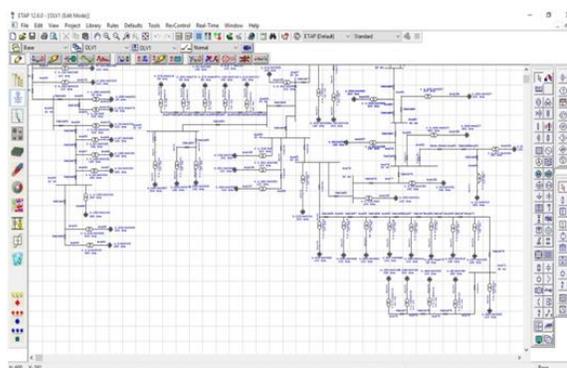


Gambar. 11 Jendela yang muncul setelah ETAP 12.6 dibuka

6. Lakukan permodelan rangkaian dan masukan komponen yang diperlukan pada *toolbar* disebelah kanan. Berikut merupakan hasil setelah dilakukan permodelan rangkaian.



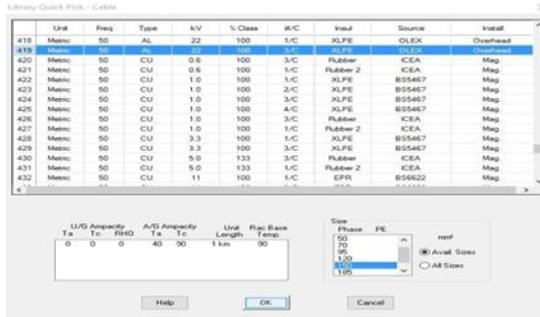
Gambar.12 Pemodelan rangkaian yang sudah selesai



Gambar.13 Lanjutan Pemodelan rangkaian yang sudah selesai

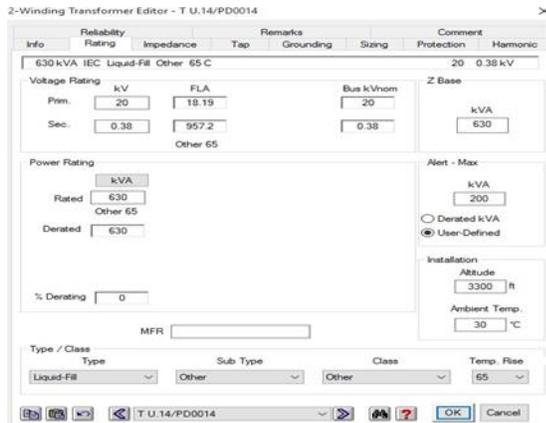
7. Mengatur kapasitas nominal Busbar
Klik *Defaults* kemudian klik *Bus*, maka akan muncul tampilan penyetelan. Atur tegangan nominal sebesar 20kV. Namun, pengaturan ini tidak berlaku untuk *bus-bus* setelah trafo distribusi, maka dengan itu, dilakukan penyetelan ulang pada masing-masing *bus* setelah trafo distribusi sebesar 0.38 kV.

8. Mengatur parameter kabel
 Untuk pengaturan kabel klik dua kali pada kabel yang akan di atur. Masukan parameter yang dibutuhkan. Pengaturan jenis kabel dilakukan dengan klik *library* dan akan muncul *di jendela layar monitor*.

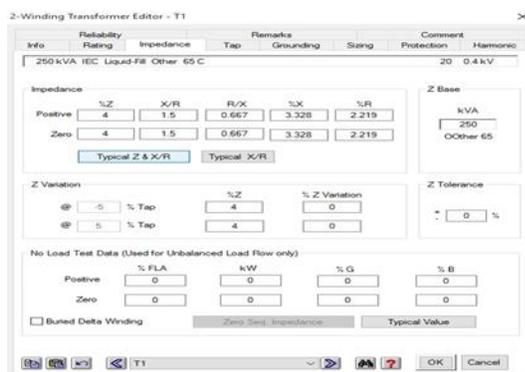


Gambar. 14 Pengaturan jenis kabel

9. Mengatur parameter trafo
 Pengaturan rating dan impedansi trafo dilakukan dengan klik dua kali pada trafo yang akan di atur, kemudian pilih *toolbar rating* / *toolbar impedance* seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



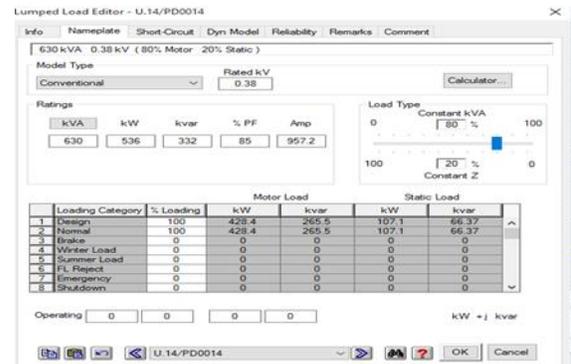
Gambar.15 Pengaturan rating trafo



Gambar.16 Pengaturan impedansi trafo

10. Pengaturan *lumped load*, *power grid* dan *single switch*

Klik dua kali pada *lumped load*, *power grid*, dan *single switch* yang akan diatur, kemudian masukkan nilai sesuai kolom yang sudah disediakan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar. 17 Pengaturan Kapasitas *Lump Load*

D. Menjalankan Simulasi Etap 12.6

Untuk mulai menjalankan simulasi dengan ETAP 12.6 pastikan pemodelan rangkaian dan parameternya sudah selesai. Setelah itu klik symbol *Load Flow Analysis* agar permodelan rangkaian masuk pada tahap pengetesan. Kemudian klik symbol *Run Load Flow* sehingga ETAP.12.6 akan langsung secara otomatis melakukan simulasi dan menampilkannya

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi ETAP 12.6

Tabel 8. Hasil Simulasi ETAP

No	Jenis Beban	P_{loss} (kW)	$\%P_{loss}$	P_R (kW)	P_S (kW)	$\% \eta$
1	Beban Puncak Siang	439,1	7,15	5695,4	6134,5	92,8
2	Beban Puncak Malam	641	8,6	6770,3	7411,3	91,3

Persentase Susut Daya dan Efisiensi dari Hasil dengan ETAP 12.6

A. Pada Beban Puncak Siang

Pada beban puncak siang terlihat pada data table 8 bahwa susut daya yang terjadi sebesar 439,1 kW

$$\% \Delta P_{loss} = \frac{439,1 \text{ kW}}{6134,5 \text{ kW}} \times 100\% = 7,15 \%$$

Maka besarnya daya yang diterima sebagai berikut,

Daya yang diterima = Daya Beban Puncak - Total ΔP_{loss}

$$\text{Daya yang diterima} = 6134,5 \text{ kW} - 439,1 \text{ kW}$$

$$\text{Daya yang diterima} = 5695,4 \text{ kW}$$

Efisiensi Penyaluran

$$\eta = \frac{\text{Daya yang diterima}}{\text{Daya Beban Puncak}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5695,4 \text{ kW}}{6134,5 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta = 92,8 \%$$

B. Pada Beban Puncak Malam

Pada beban puncak malam dari data tabel 8 susut daya yang terjadi sebesar 641 kW.

$$\% \Delta P_{loss} = \frac{641 \text{ kW}}{7411,3 \text{ kW}} \times 100\% = 8,6 \%$$

Maka besarnya daya yang diterima sebagai berikut,

$$\text{Daya yang diterima} = \text{Daya Beban Puncak} - \text{Total } \Delta P_{loss}$$

$$\text{Daya yang diterima} = 7411,3 \text{ kW} - 641 \text{ kW}$$

$$\text{Daya yang diterima} = 6770,3 \text{ kW}$$

Efisiensi Penyaluran

$$\eta = \frac{\text{Daya yang diterima}}{\text{Daya Beban Puncak}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{6770,3 \text{ kW}}{7411,3 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta = 91,3 \%$$

4.2 Perhitungan Manual

Perhitungan Resistansi Saluran

Untuk perhitungan resistansi menggunakan suhu 60⁰ yang dimaksudkan sebagai asumsi suhu beban puncak, sesuai standar SPLN 87 – 1991. Untuk menghitung nilai resistansi penghantar, digunakan rumus persamaan 2.2 dengan data tabel 3.3 untuk penghantar AAAC 150mm² dan tabel 3.4 untuk penghantar NA2XSEYBY (Al) 240mm².

1. AAAC 150mm²

$$R_2 = \frac{228 + 60}{228 + 20}$$

$$0,210 = \frac{228 + 60}{228 + 20}$$

$$248 R_2 = 288 \times (0,210)$$

$$R_2 = \frac{60,48}{248} \quad R_2 = 0,24837 \Omega / Km$$

$$R_{ac} = K \times R_2$$

$$R_{ac} = 1,02 \times 0,2438 \Omega / Km$$

$$R_{ac} = 0,2487 \Omega / Km$$

2. NA2XSEYBY (Al) 240mm²

$$R_2 = \frac{228 + 60}{228 + 20}$$

$$0,125 = \frac{228 + 60}{228 + 20}$$

$$R_2 = \frac{228 + 60}{228 + 20}$$

$$0,125 = \frac{228 + 60}{228 + 20}$$

$$248 R_2 = 288 \times (0,125)$$

$$R_2 = \frac{36}{248}$$

$$R_2 = 0,1451 \Omega / Km$$

$$R_{ac} = K \times R_2$$

$$R_{ac} = 1,02 \times 0,1451 \Omega / Km$$

$$R_{ac} = 0,148 \Omega / Km$$

Perhitungan Reaktansi Saluran

Hitung terlebih dahulu jarak antar konduktor (D) menggunakan persamaan seperti berikut.

$$D = \sqrt[3]{0,8 \times 0,8 \times 1,6}$$

$$D = \sqrt[3]{0,8 \times 0,8 \times 1,6}$$

$$D = \sqrt[3]{1,024}$$

$$D = 1,0079 \text{ m}$$

1. AAAC 150mm²

Untuk nilai r dihitung dengan

$$r = \sqrt{\frac{150 \times 10^{-6}}{3,14}}$$

$$r = \sqrt{4,777 \times 10^{-5}}$$

$$r = 6,9116 \times 10^{-3}$$

$$r = 0,0069116 \text{ m}$$

Setelah didapat nilai D dan r, bisa dilanjutkan menghitung nilai L dengan persamaan seperti dibawah ini.

$$L = (0,5 + 4,6 \log_{10} (\frac{1,0079 - 0,0069116}{0,0069116})) \times 10^{-7}$$

$$L = (0,5 + 4,6 \log_{10}(144,827)) \times 10^{-7}$$

$$L = (0,5 + 4,6 (\log_{10} + \log 144,827)) \times 10^{-7}$$

$$L = (0,5 + 4,6 (1 + 2,160)) \times 10^{-7}$$

$$L = (0,5 + 14,536) \times 10^{-7}$$

$$L = 15,036 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$L = 15,036 \times 10^{-4} \text{ mH/Km}$$

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

$$X_L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 15,036 \times 10^{-4} \text{ mH/Km}$$

$$X_L = 4721,30410^{-4} \Omega / Km$$

$$X_L = 0,4721304 \Omega / Km$$

2. NA2XSEYBY (Al) 240mm²

Menurut IEC (60502-2) nilai reaktansi untuk penghantar NA2XSEYBY (Al) 240mm² adalah 0,098.

Perhitungan Kapasitas Penyaluran

1. Beban Puncak Siang Hari

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V I \cos \theta$$

$$P_{3\phi} = 1,73 \times 20000 \times 197 \times 0,9$$

$$P_{3\phi} = 6134580 \text{ Watt}$$

$$P_{3\phi} = 6,13 \text{ MW}$$

2. Beban Puncak Malam Hari

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V I \cos \theta$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times 20000 \times 238 \times 0,9$$

$$P_{3\phi} = 7411320 \text{ Watt}$$

$$P_{3\phi} = 7,41 \text{ MW}$$

Dengan perhitungan kapasitas tersebut, dapat dilihat bahwa besarnya nilai beban puncak siang dan malam yaitu 6,13 MW dan 7,41 MW. Hasil ini sesuai dengan data beban puncak Penyulang Cendana PLN Rayon Ampera.

Perhitungan Susut Daya

Perhitungan susut daya saluran menggunakan data arus sesuai kondisi masing – masing beban puncak.

A. Susut daya saat beban puncak siang

SUTM AAAC 150mm²

$$\Delta P_{loss} = 3 \times I^2 \times R \times l$$

$$\Delta P_{loss} = 3 \times (197)^2 \times 0,2487 \times 13,2$$

$$\Delta P_{loss} = 382211,212 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{loss} = 382,211 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{loss} = 0,38 \text{ MW}$$

$$\% = \frac{382211,212}{6134580} \times 100\% = 6,2 \%$$

SKTM AAAC 240mm²

$$\Delta P_{loss} = 3 \times I^2 \times R \times l$$

$$\Delta P_{loss} = 3 \times (197)^2 \times 0,148 \times 3,3$$

$$\Delta P_{loss} = 56862,946 \text{ Watt}$$

$$\Delta P_{loss} = 56,862 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{loss} = 0,056 \text{ MW}$$

$$\% = \frac{41847,577}{5210000} \times 100\% = 0,92 \%$$

Total $\Delta P_{loss} = \Delta P_{loss} \text{ SUTM} + \Delta P_{loss} \text{ SKTM}$

$$\text{Total } \Delta P_{loss} = 382211,212 + 56862,946$$

$$\text{Total } \Delta P_{loss} = 439074,158 \text{ Watt}$$

$$\% \text{ Total } \Delta P_{loss} = \frac{439074,158}{6134580} \times 100\% = 7,2 \%$$

Maka besarnya daya yang diterima sebagai berikut,

Daya yang diterima = Daya Beban Puncak - Total

ΔP_{loss}

$$\text{Daya yang diterima} = 6134580 - 439074,158$$

$$\text{Daya yang diterima} = 5695505,84 \text{ Watt}$$

Efisiensi Penyaluran

$$\eta = \frac{\text{Daya yang diterima}}{\text{Daya Beban Puncak}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5695505,84}{6134580} \times 100\%$$

$$\eta = 92,8 \%$$

B. Susut daya saat beban puncak malam

SUTM AAAC 150mm²

$$\Delta P_{loss} = 3 \times I^2 \times R \times l$$

$$\Delta P_{loss} = 3 \times (238)^2 \times 0,2487 \times 13,2$$

$$\Delta P_{loss} = 557859,566 \text{ Watt}$$

$$\% = \frac{557859,566}{7411320} \times 100\% = 7,5 \%$$

SKTM AAAC 240mm²

$$\Delta P_{loss} = 3 \times I^2 \times R \times l$$

$$\Delta P_{loss} = 3 \times (238)^2 \times 0,148 \times 3,3$$

$$\Delta P_{loss} = 82994,788 \text{ Watt}$$

$$\% = \frac{82994,788}{7411320} \times 100\% = 1,1 \%$$

Total $\Delta P_{loss} = \Delta P_{loss} \text{ SUTM} + \Delta P_{loss} \text{ SKTM}$

$$\text{Total } \Delta P_{loss} = 557859,556 + 82994,788$$

$$\text{Total } \Delta P_{loss} = 640854,354 \text{ Watt}$$

$$\% \text{ Total } \Delta P_{loss} = \frac{640854,354}{7411320} \times 100\% = 8,6\%$$

Maka besarnya daya yang diterima sebagai berikut,

Daya yang diterima = Daya Beban Puncak - Total

$$\Delta P_{loss} \text{ Daya yang diterima} = 557859,556 - 640854,354$$

$$\text{Daya yang diterima} = 6770465,646 \text{ Watt}$$

Efisiensi Penyaluran

$$\eta = \frac{\text{Daya yang diterima}}{\text{Daya Beban Puncak}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{6770465,646}{7411320} \times 100\%$$

$$\% \eta = 91,4\%$$

Tabel. 9 Hasil perhitungan manual

No	Jenis Beban	P_{loss} (kW)	$\%P_{loss}$	P_R (kW)	P_S (kW)	$\% \eta$
1	Beban Puncak Siang	439,07	7,2	5695,5	6134,5	92,8
2	Beban Puncak Malam	640,8	8,6	6770,4	7411,3	91,4

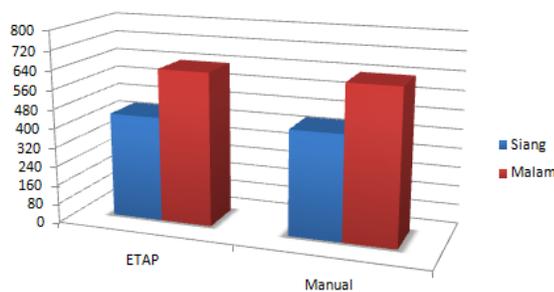
4.3 Perbandingan Hasil Susut Daya ETAP dan Perhitungan Manual

Tabel.10 Hasil susut daya simulasi ETAP dan perhitungan Manual

No	Nama Penyulang	ETAP		Manual	
		Siang	Malam	Siang	Malam
1	Cendana	439,1 kW	641 kW	439,07kW	640,8kW

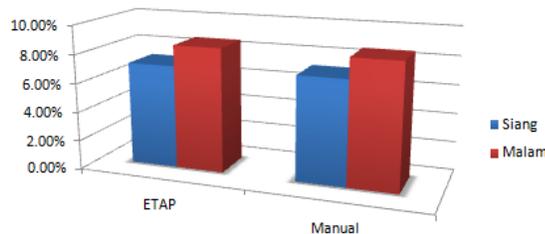
Grafik perbandingan hasil simulasi ETAP dan perhitungan manual

Grafik Perbandingan Susut Daya Saat Beban Puncak Februari 2017



Gambar.18 Grafik perbandingan susut daya beban puncak Februari 2017

Grafik Perbandingan Persentase Susut Daya Terhadap Beban Puncak Februari 2017



Gambar. 19 Grafik perbandingan persentase susut daya terhadap beban puncak february 2017

4.4 Evaluasi Hasil Susut Daya ETAP dan Perhitungan Manual

Dari Grafik.18 terlihat bahwa hasil susut daya didapat yang terjadi saat beban puncak siang maupun saat beban puncak malam pada Penyulang Cendana dengan menggunakan simulasi ETAP 12.6mendekati atau sama hasilnya dengan perhitungan manual. Adapun untuk simulasi dengan ETAP 12.6 yaitu untuk beban puncak siang sebesar 439,1kW dan untuk beban puncak malam sebesar 641 kW sedangkan untuk perhitungan manual hasilnya sebesar 439,07kW pada beban puncak siang dan hasilnya sebesar 640,8kW pada beban

puncak malam. Pada Grafik 19 terlihat untuk nilai persentase susut daya terhadap beban puncak dengan perhitungan manual yaitu sebesar 7,2% untk beban siang dan 8,6% untuk beban malam. Sedangkan dengan simulasi ETAP persentasenya sebesar 7,15% untuk beban siang dan 8,6% untuk beban malam. Dengan merujuk pada SPLN 1:1978 bahwa susut daya yang diizinkan hanya sebesar 2%, maka dengan evaluasi hasil ini dapat diketahui bahwa sudah seharusnya dilakukan optimalisasi jaringan dikarenakan susut daya yang terjadi sudah jauh dari batas yang diizinkan.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil evaluasi susut daya terhadap penyulang cendana, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Parameter – parameter penyebab susut daya diantaranya nilai resistansi, reaktansi, panjang penghantar yang berpengaruh terhadap nilai susut daya dan faktor daya beban yang mempengaruhi daya kapasitas penyaluran beban puncak.
2. Untuk penghantar SUTM yaitu AAAC 150mm² nilai resistansinya adalah 0,2487 Ω/Km dan nilai reaktansinya adalah 0,4721304mH/Km. Adapun untuk penghantar SKTM yaitu NA2XSEYBY (Al) 240mm² nilai resistansinya adalah 0,148 Ω/Km dan nilai reaktansinya 0,098mH/Km.
3. Perbandinganhasil susut daya penyulang yang didapat dengan simulasi ETAP 12.6 pada beban puncak siang sebesar 439,1 kW dan pada beban puncak malam sebesar 641 kW sedangkan dengan perhitungan manual nilainya lebih kecil yaitu sebesar 439,07kW untuk beban siang dan 640,8kW untuk beban malam. Adapun nilai persentase susut daya dengan perhitungan manual yaitu 7,2% untuk beban siang dan sebesar 8,6% untuk beban malam. Sedangkan dengan simulasi ETAP 12.6 persentasenya yaitu 7,15% untuk beban siang dan 8,6% untuk beban malam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, A. Kuwahara.1993.*Teknik Tenaga ListrikJilidIII*.Jakarta : PT. Prayana
- [2]Arismunandar, A. Kuwahara.1993.*Teknik TenagaListrikJilidIII*.Jakarta : PT. Prayana
- [3]Cekdin,Cekmas.2013.*Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [4]Hutahuruk,T.S.1996.*Transmisi Daya Listrik* .Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [5] IEC.tahun.BS 6622 IEC 60502-2.

- [6] Kadir, Abdul.2006.Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik.Depok : UI-Press.
- [7] Nasar, Syed A dan K. Uma Rao.2008.*Electric Power System*.New Delhi : Tata McGraw Hill.
- [8] Pabla, AS.1991.*Sistem Distribusi Daya Listrik* .Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [9] PT.PLN.1981.*SPLN 41-8*.
- [10] PT.PLN.1991.*SPLN 87*.
- [11] PT.PLN.2010.*PLN Buku 4*.
- [12] PT.PLN.2010.*PLN Buku 5*.
- [13] Stevenson, William D.1994.*Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta :Penerbit Erlangga.
- [14] Watkins, A.J.2004.*Perhitungan Instalasi Listrik*. Jakarta: PenerbitErlangga.
- [15] Zuhail.1995.*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya* .Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.