



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik⁽¹⁾

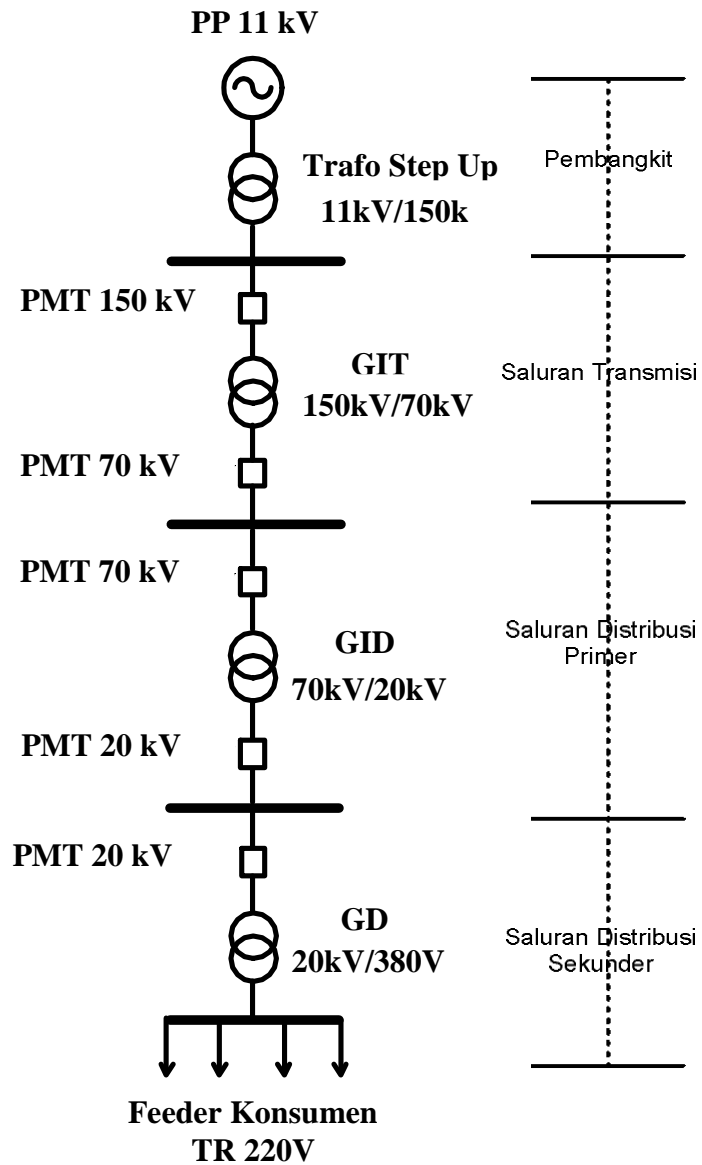
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk menggunakan transformator *step-up* menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV menggunakan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi yang kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi menurunkan tegangannya menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220V/380V. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh digunakan tegangan setinggi mungkin dengan menggunakan trafo *step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain : berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain itu menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Oleh karena itu, pada daerah-daerah pusat beban, tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo *step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa sistem

¹ Suhadi dik. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal.11

distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik⁽²⁾

Keterangan:

TR = Tegangan Rendah

PP = Power Plan

GIT = Gardu Induk Transmisi

GID = Gardu Induk Distribusi

GD = Gardu Distribusi

²Abdul Kadir. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Hal 5



Baik atau tidaknya sesuatu sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah regulasi tegangan, kontinuitas penyaluran, efisiensi, dan harga sistem. Oleh karena itu, suatu sistem distribusi harus memiliki regulasi tegangan yang tidak terlalu besar, gangguan pada pelayanan yang tidak terlalu lama, serta biaya sistem yang tidak terlalu mahal.

2.1.1 Sistem jaringan distribusi primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan menengah ini terletak antara gardu induk dengan gardu distribusi (gardu pembagi), yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah tegangan sistem diatas 1000 V sampai dengan 35000 V.

2.1.2 Sistem jaringan distribusi sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industri. Besarnya tegangan maksimum yang diizinkan adalah 3 sampai 4 % lebih besar dari tegangan nominalnya. Penetapan ini sebanding dengan besarnya nilai tegangan jatuh (*drop voltage*) yang telah ditetapkan berdasarkan PUIL 661 F.1, bahwa rugi-rugi daya pada suatu jaringan adalah 15 %. Dengan adanya pembatasan tersebut stabilitas penyaluran daya ke pusat-pusat beban tidak terganggu.

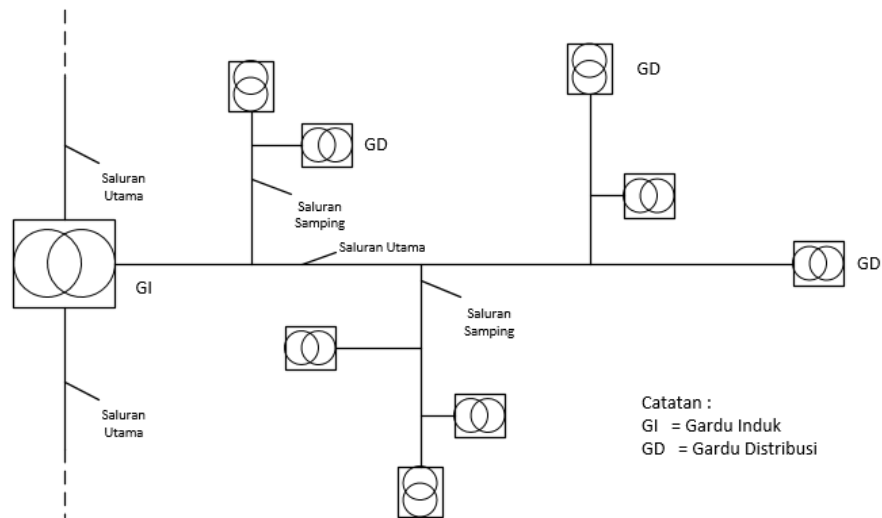
2.2 Konfigurasi Sistem Distribusi⁽³⁾

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi :

³PT. PLN (PERSERO). 2010. *Buku 1 Kriteria Disain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. bab 4 hal. 3-7.

2.2.1 Jaringan radial

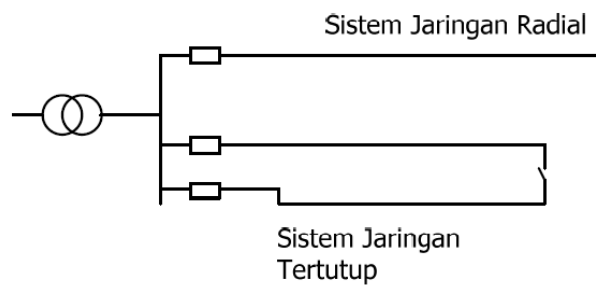
Yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “*black-out*” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.



Gambar 2.2 Pola jaringan radial⁽²⁾

2.2.2 Jaringan bentuk tertutup

Yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.



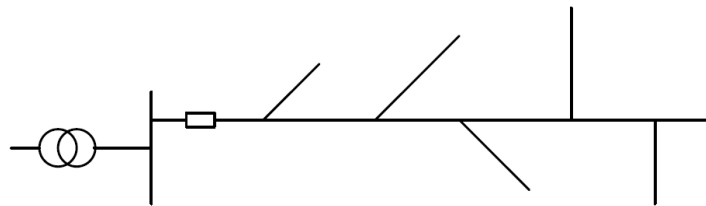
Gambar 2.3 Pola jaringan distribusi dasar

Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut :

² Abdul Kadir. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Hal 22

a. konfigurasi tulang ikan (*fishbone*)

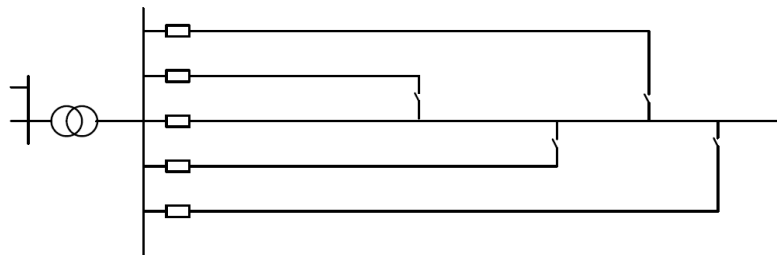
Konfigurasi *Fishbone* ini adalah tipikal konfigurasi dari Saluran Udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan *system SCADA*. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*) dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.



Gambar 2.4 Konfigurasi tulang ikan (*fishbone*)

b. konfigurasi kluster (*cluster / leap frog*)

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.

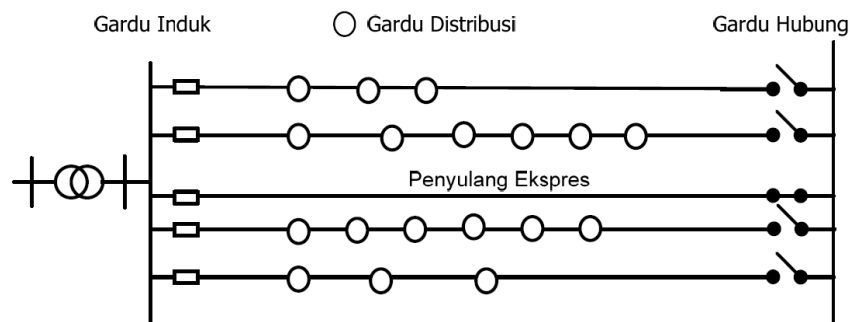


Gambar 2.5 Konfigurasi kluster (*leap frog*)

c. konfigurasi spindel (*spindle configuration*)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up* suplai jika terjadi gangguan pada penyulang operasi.

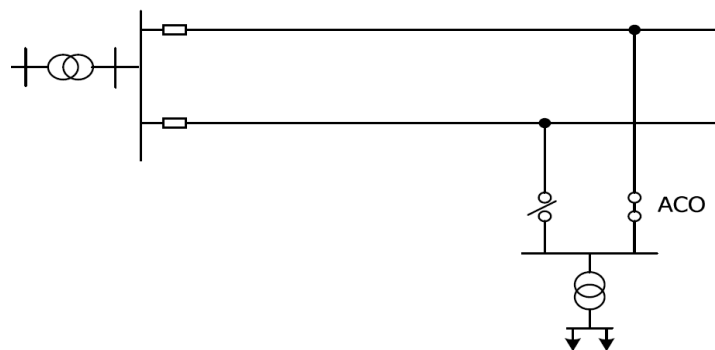
Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep spindel jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 2.6 Konfigurasi spindel (*spindle configuration*)

d. konfigurasi *fork*

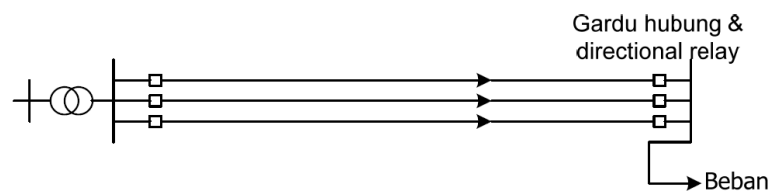
Konfigurasi ini memungkinkan 1 (satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch* (ACOS). Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan *Tee-Off* (TO) dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.



Gambar 2.7 Konfigurasi *fork*

e. Konfigurasi spot load (*Parallel Spot Configuration*)

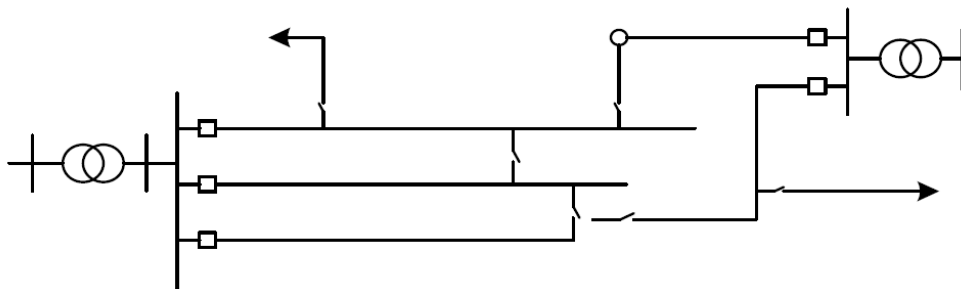
Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.8 Konfigurasi spotload (*parallel spot configuration*)

f. Konfigurasi jala-jala (*Grid, Mesh*)

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.

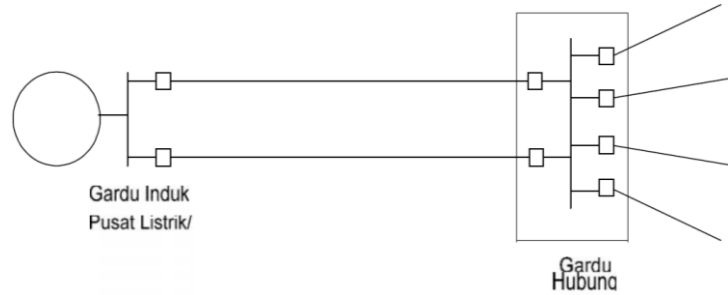


Gambar 2.9 Konfigurasi jala - jala (*grid, mesh*)

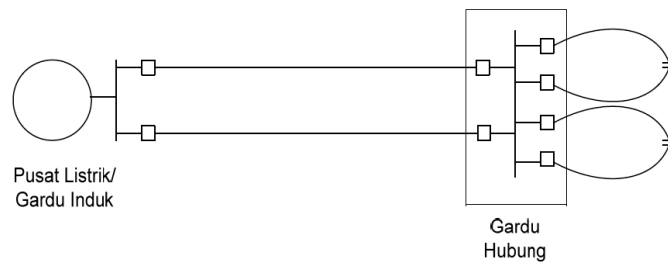
g. Konfigurasi lain-lain

Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana diatas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model model struktur jaringan.

Struktur Garpu dan Bunga dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik/Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu Hubung sebagai Gardu Pembagi, Pemutus Tenaga sebagai pengaman dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.

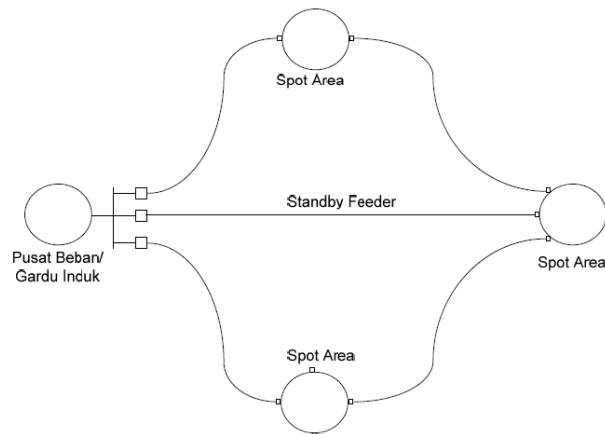


Gambar 2.10 Konfigurasi struktur garpu



Gambar 2.11 Konfigurasi struktur bunga

Struktur rantai pada Gambar 2.12 dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 2.12 Konfigurasi struktur rantai

2.3 Jenis - Jenis Penghantar Pada Sistem Jaringan Distribusi Primer⁽⁴⁾

Jaringan distribusi SUTM 20 KV pada umumnya menggunakan jenis kawat yaitu saluran yang konduktornya tidak dilapisi isolasi sebagai pelindung luar (telanjang). Tipe demikian dipergunakan pada pasangan luar yang diharapkan terbebas dari sentuhan misalnya untuk jenis kabel yaitu saluran yang konduktornya dilindungi (dibungkus) lapisan isolasi.

Bahan konduktor yang paling populer digunakan adalah tembaga (*copper*) dan aluminium. Tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Berbagai macam jenis penghantar aluminium yang ada yaitu sebagai berikut :

1. AAC “*all-aluminium conductors*”, seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC “*all-aluminium-alloy conductors*”, seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR “*Aluminium conductor, steel-reinforced*”, penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja.
4. ACAR “*aluminium conductor, alloy-reinforced*”, penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

2.4 Daya Listrik⁽⁵⁾

Pengertian daya listrik adalah perkalian antara tegangan yang diberikan dengan hasil arus yang mengalir. Daya dikatakan *positif*, ketika arus yang mengalir bernilai positif artinya arus mengalir dari sumber tegangan menuju rangkaian (transfer energi dari sumber ke rangkaian). Sedangkan, daya dikatakan *negatif*, ketika arus yang mengalir bernilai negatif artinya arus mengalir dari rangkaian menuju sumber tegangan (transfer energi dari rangkaian ke sumber).

⁴ William D. Stevenson, Jr. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 37.

⁵ Ramdhani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*. Hal. 269.



2.4.1 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.

Untuk 1 fasa yaitu :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(2.1)^{(6)}$$

Untuk 3 fasa yaitu :

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_L I_L \dots\dots\dots(2.2)^{(4)}$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (Watt)

Q = Daya reaktif (VAr)

V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

V_L = Tegangan Line-Line (Volt)

I/L = Arus Yang Mengalir Pada Penghantar (Amper)

2.4.2 Daya aktif

Daya aktif atau disebut juga dengan daya nyata adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam peralatan mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\theta \dots\dots\dots(2.3)^{(6)}$$

Untuk 3 fasa :

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta_p \dots\dots\dots(2.4)^{(4)}$$

⁶ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2011. *BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK*. Hal. 25

⁴ William D. Stevenson, Jr. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 28.

⁶ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2011. *BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK*. Hal. 25.

⁴ William D. Stevenson, Jr. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 28.



Dimana :

- P = Daya Nyata (Watt)
- V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)
- V_L = Tegangan Line-Line (Volt)
- I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)
- $\text{Cos } \theta_p$ = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

2.4.3 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.

Untuk 1 phasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\theta \dots\dots\dots(2.5)^{(6)}$$

Untuk 3 phasa :

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin\theta_p \dots\dots\dots(2.6)^{(4)}$$

Dimana :

- Q = Daya reaktif (VAr)
- V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)
- V_L = Tegangan Line-Line (Volt)
- I = Arus (Amper)
- $\text{Sin } \theta_p$ = Faktor Daya (tergantung nilai θ)

2.4.4 Faktor daya

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA). Dengan kata lain dapat dikatakan merupakan cos-sinus sudut antar daya aktif dan daya semu/daya total. Daya reaktif (VAR)

⁶ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2011. *BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK*. Hal. 25

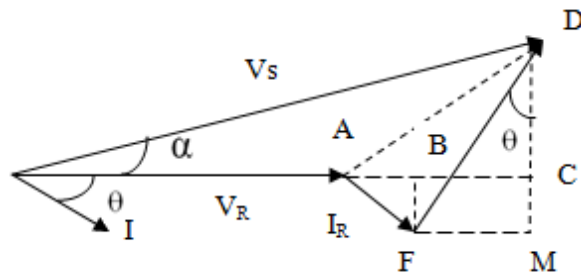
⁴ William D. Stevenson, Jr. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 28.

yang tinggi akan meningkatkan sudut dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Adapun rumus untuk menghitung faktor daya adalah:

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{V_{eff}I_{eff}\cos\theta}{V_{eff}I_{eff}} = \cos\theta \dots\dots\dots(2.7)^{(5)}$$

2.5 Drop Tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Drop tegangan pada saluran tenaga listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar drop tegangan dapat dinyatakan dalam persen maupun dalam satuan volt. Berdasarkan SPLN No.72:1987, drop tegangan atau jatuh tegangan yang diperbolehkan untuk sistem distribusi tegangan menengah adalah sebesar 5%. Dalam suatu sistem distribusi, drop tegangan yang terjadi harus diupayakan sekecil-kecilnya agar tidak merugikan konsumen.



Gambar 2.13 Diagram fasor saluran distribusi

Besarnya drop tegangan yang terjadi pada saluran tersebut dapat dirumuskan :

$$\Delta V = |V_s| - |V_r| \dots\dots\dots(2.8)$$

Berdasarkan penjelasan, maka besar persentase susut tegangan pada saluran tiga fasa dapat ditentukan dengan rumus:

⁵ Ramdhani ,Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*, Hal. 273.



$$\% V \text{ rugi} = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.9)$$

Sedangkan untuk besarnya susut tegangan untuk jaringan dalam volt dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta V(1\Phi) = (I.R \cos \phi + I.X \sin \phi) \dots\dots\dots (2.10)^{(6)}$$

$$\Delta V(3\Phi) = \sqrt{3} (I.R \cos \phi + I.X \sin \phi) \dots\dots\dots (2.11)^{(6)}$$

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| ΔV = Drop tegangan (V) | I = Arus saluran (A) |
| V_s = Tegangan awal (V) | $\cos \phi$ = power factor |
| V_r = Tegangan akhir (V) | $\sin \phi$ = sudut reaktif |
| R = Resistansi saluran (Ω) | |
| X = Reaktansi saluran (Ω) | |

2.6 Parameter Saluran

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat – sifat listrik sebagai parameter saluran, seperti resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu panjang (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV, maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan. Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran. Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisa sistem tenaga.

⁶ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2011. *BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK*. Hal. 25



2.6.1 Resistansi 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:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.12)^{(7)}$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis penghantar ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

l = Panjang saluran (m)

A = Luas penampang penghantar (mm^2)

Kenaikan resistansi karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan tiga serat dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar maka titik pertemuan perpanjangan garis dengan sumbu suhu dimana resistansinya sama dengan nol adalah suatu konstanta untuk bahan logam bersangkutan, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{T_0+t2}{T_0+t1} \dots\dots\dots (2.13)^{(7)}$$

Dimana :

R_{t2} = Resistansi penghantar pada suhu $t1$ (temperatur sebelum operasi konduktor)

R_{t1} = Resistansi penghantar pada suhu $t2$ (temperatur operasi konduktor)

t_1 = Temperatur awal (°C)

t_2 = Temperatur akhir (°C)

T_0 = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

⁷ Hutaaruk, T.S. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Hal. 5.

⁷ Hutaaruk, T.S. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Hal. 6.



Nilai-nilai konstanta To adalah sebagai berikut:

To = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

To = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

To = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.6.2 Reaktansi saluran

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r}\right) \times 10^{-7} H/m \dots\dots\dots (2.14)^{(8)}$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris, maka D pada persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \dots\dots\dots (2.15)^{(8)}$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dari persamaan 2.14 maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan 2.17 di bawah ini :

$$X_L = \omega L = 2\pi.f.L \dots\dots\dots (2.17)^{(9)}$$

⁸ Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. 1995. Hal. 152.

⁸ Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. 1995. Hal. 152.

⁹ B.L. Theraja. 1983. *Worked Examples In Electrical Technology*. Techouse. Hal. 236.



Dimana :

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω/km)

2π = Sudut arus bolak balik

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.7 ETAP⁽¹⁰⁾

ETAP adalah suatu *software* analisis yang *comprehensive* untuk mendesain dan mensimulasikan suatu sistem rangkaian tenaga. Analisis yang ditawarkan oleh ETAP yang digunakan oleh penulis adalah drop tegangan, *power factor*, dan losses jaringan. ETAP juga bisa memberikan *warning* terhadap bus – bus yang *under voltage* dan *over voltage* sehingga pengguna bisa mengetahui bus mana yang tidak beroperasi optimal. Untuk menganalisa suatu rangkaian diperlukan data rangkaian yang lengkap dan akurat sehingga hasil perhitungan ETAP bisa dipertanggungjawabkan.

ETAP mengintegrasikan data–data rangkaian tenaga listrik seperti kapasitas pembangkit, panjang jaringan, resistansi jaringan per km, kapasitas busbar, ranting trafo, impedansi urutan nol, positif, dan negatif suatu peralatan listrik seperti trafo, generator dan penghantar.⁽¹¹⁾

ETAP memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan diagram satu garis grafis dan sistem kabel bawah tanah *raceway*. Program ini telah dirancang berdasarkan tiga konsep kunci :

1. Virtual Reality Operasi

Program Operasi menyerupai sistem operasi listrik nyata sedekat mungkin. Sebagai contoh, ketika membuka atau menutup sebuah pemutus sirkuit, tempat elemen dari layanan, atau mengubah status operasi dari motor, unsur *de-energized* dan sub-sistem yang ditunjukkan pada diagram satu garis berwarna abu-abu.

¹⁰ Sugiarto , Bambang. 2010. *Evaluasi Rugi Daya dan Tegangan Jatuh di Penyulang Jati Dengan Menggunakan ETAP Power Station*. Hal. 6-7.

¹¹ Rahman, Arif. 2009. *Analisa Rugi-Rugi daya Listrik pada Sistem Distribusi Primer di Gardu Induk Bukit Siguntang Palembang dengan Bantuan Software ETAP*. Hal.16.



ETAP menggabungkan konsep-konsep baru untuk menentukan perangkat pelindung koordinasi langsung dari diagram satu garis.

2. Integrasi total Data

ETAP menggabungkan listrik, atribut logis, mekanik, dan fisik dari elemen sistem dalam *database* yang sama. Misalnya, kabel tidak hanya berisi data yang mewakili sifat listrik dan dimensi fisik, tapi juga informasi yang menunjukkan *raceways* melalui yang disalurkan.

Dengan demikian, data untuk kabel tunggal dapat digunakan untuk analisis aliran daya atau sirkuit pendek (yang membutuhkan listrik dan parameter koneksi) serta kabel *ampacity derating* perhitungan (yang memerlukan rute fisik data). Integrasi ini menyediakan konsistensi data di seluruh sistem dan menghilangkan *multiple entry* data untuk unsur yang sama.

3. Kesederhanaan di Data Entri

ETAP melacak data rinci untuk setiap alat listrik. Editor data dapat mempercepat proses entri data dengan meminta data minimum untuk studi tertentu. Untuk mencapai hal ini, kita telah terstruktur editor properti dengan cara yang paling logis untuk memasukkan data untuk berbagai jenis analisis atau desain. ETAP diagram satu garis mendukung sejumlah fitur untuk membantu dalam membangun jaringan dari berbagai kompleksitas. Misalnya, setiap elemen secara individu dapat memiliki berbagai orientasi, ukuran, dan simbol-simbol *display* (IEC atau ANSI). Diagram satu garis juga memungkinkan untuk menempatkan beberapa alat pelindung antara sirkuit cabang dan bus.

ETAP menyediakan berbagai pilihan untuk menampilkan atau melihat sistem listrik. Pandangan ini disebut presentasi. Lokasi, ukuran, orientasi, dan simbol setiap unsur dapat berbeda di masing-masing presentasi. Selain itu, alat pelindung dan *relay* dapat ditampilkan (terlihat) atau disembunyikan (tidak terlihat) untuk presentasi tertentu. Misalnya, satu presentasi dapat menggunakan tampilan *relay* di mana semua perangkat pelindung ditampilkan. presentasi lain mungkin menunjukkan diagram satu garis dengan beberapa pemutus sirkuit



ditampilkan dan sisanya tersembunyi (tata letak paling cocok untuk hasil aliran beban).

2.7.1 Kemampuan program⁽¹²⁾

ETAP menyediakan kemampuan program berikut:

1. Elemen

Bus	: tidak terbatas *
Terminal beban (<i>Load</i>)	: tidak terbatas
Cabang	: tidak terbatas
Alat / Kabel <i>Feeder</i>	: tidak terbatas
Transformator dengan Pengaturan Tekan	: tidak terbatas
Motor, Beban, MOVs, Kapasitor, Filter, All	: tidak terbatas
Penggabungan Komposit Jaringan	: tidak terbatas
Penggabungan Komposit Motor	: tidak terbatas

2. Presentasi / Konfigurasi / Revisi Data

Diagram satu garis	: tidak terbatas
Sistem Pentanahan Raceway	: tidak terbatas
Diagram System Kontrol	: tidak terbatas
Diagram Jaringan Tanah	: tidak terbatas
Alur Karakteristik Waktu Arus	: tidak terbatas
Penyajian Geografis (antar-muka GIS)	: tidak terbatas
Konfigurasi Status	: tidak terbatas
Revisi Data (Data Base & Revisi)	: tidak terbatas

3. Kategori Beban

Setiap Motor , MOV, Beban, dan lain-lain. :10

4. Kategori Generasi

Tiap Generator dan Power Grid :10

¹² (sumber: *Manual Help ETAP Power Station 7.5*)



5. Short-Circuit Program (AC & DC)

Bus terganggu : tidak terbatas

6. Motor Starting Program

Menjalankan Motor Secara Serentak : tidak terbatas

Kategori Starting : tidak terbatas

Waktu menjalankan Program : tidak terbatas

7. Program Stabilitas Transien

Model dinamis Mesin : tidak terbatas

Kegiatan Waktu : tidak terbatas

8. Sistem DC

Kategori Tugas Cycle : 5

9. Libraries

Headers dan Merekam : tidak terbatas

* nomor maksimum dari pemakaian bus sampai perhitungan adalah bergantung pada Lisensi. Contohnya : 100, 500, 2.000, atau 20.000 bus.

2.7.2 Persyaratan sistem⁽¹²⁾

Persyaratan Sistem Pengaturan menggambar minimum dan dianjurkan untuk ETAP.

1. Sistem Operasi

- Microsoft® Windows® 7 (Home Premium, Professional, Ultimate)
- Microsoft® Windows Vista (Home Premium, Business, Enterprise)
- Microsoft® Windows® XP (Service Pack 3) Professional or Home Edition
- Microsoft® Server 2003 (Service Pack 2)
- Microsoft® Server 2003 R2 (Service Pack 2)

¹² (sumber: Manual Help ETAP Power Station 7.5)



- Microsoft® Server 2008

2. Syarat *Software* Lainnya

- Internet Explorer 5.01 atau lebih
- Microsoft® .NET Framework v1.1, Service pack 1
- Microsoft® .NET Framework v2.0, Service pack 1

3. Syarat Konfigurasi PC

- USB *port* (jika hanya memiliki ini untuk antar muka)
- Akses jaringan portal Internet (jika jaringan membutuhkan lisensi)
- Tempat DVD
- 10 sampai 80 GB tempat *harddisk* (berdasarkan ukuran, nomor dari bus proyek)
- Merekomendasikan monitor 19 inci (rekomendasi monitor yang berkualitas tinggi)
- Resolusi tampilan minimum 1024x768

4. Syarat *Hardware* yang Disarankan

A. Proyek Untuk 100 Bus

- Intel Dual/Quad core – 2.0 GHz atau lebih (atau mendekati)
- 2 GB RAM

B. Proyek Untuk 500 Bus

- Intel Dual/Quad core – 2.0 GHz atau lebih (atau mendekati)
- 4 GB RAM

C. Proyek Untuk 1,000 Bus

- Intel Dual/Quad core – 3.0 GHz dengan Hyper-Threading Technology
- Dengan bus kecepatan tinggi (atau mendekati)
- 8 GB of RAM (kecepatan tinggi)
- Operasi Sistem 64-bit

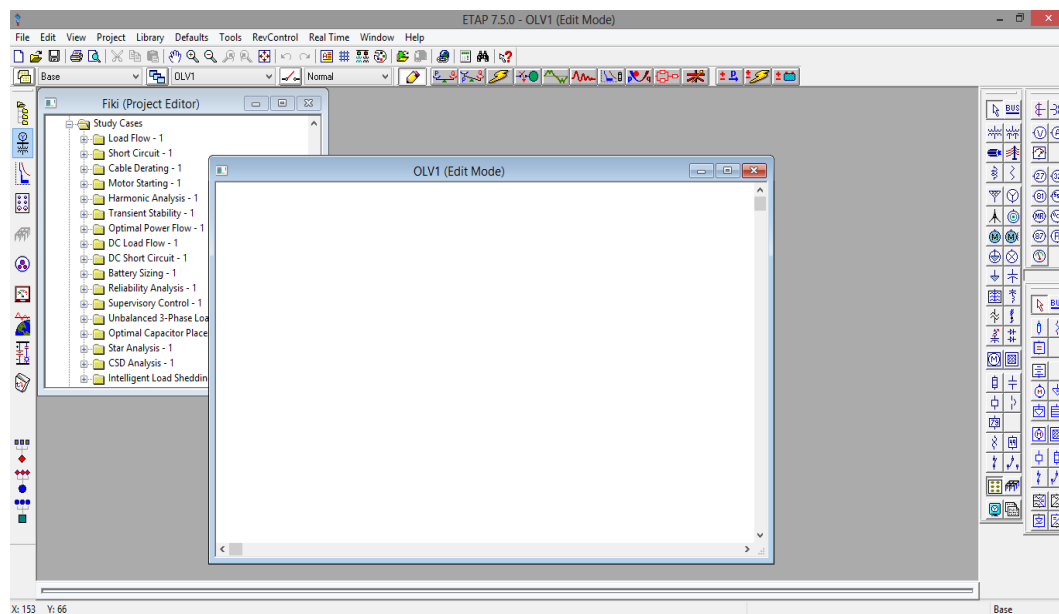
D. Proyek Untuk 10,000 Bus dan Lebih

- Intel Dual/Quad core – 3.0 GHz dengan Hyper-Threading
- sistem bus berkecepatan tinggi (atau setara)
- 12 GB RAM (kecepatan tinggi)
- Operasi Sistem 64-bit

2.7.3 Langkah-langkah pengoperasian pada ETAP⁽¹¹⁾

Setelah semua data penunjang ETAP terkumpul, baik itu panjang jaringan, jenis penghantar, rating trafo dan besar pembebanan trafo tersebut. Barulah kita dapat menggambar rangkaian ETAP dengan berpedoman dengan single line diagram dan map info. Kita dapat menggambar rangkaian ETAP sesuai dengan alur jaringan sesungguhnya pada penyulang, tetapi sebelum merangkai jaringan pada ETAP, untuk memudahkan merangkai, terlebih dahulu kita harus melakukan *setting* pada ETAP itu sendiri, seperti kapasitas *busbar* yang digunakan, impedansi kabel dan rating trafo. Langkah-langkahnya yaitu :

1. Membuat Proyek Baru di ETAP :



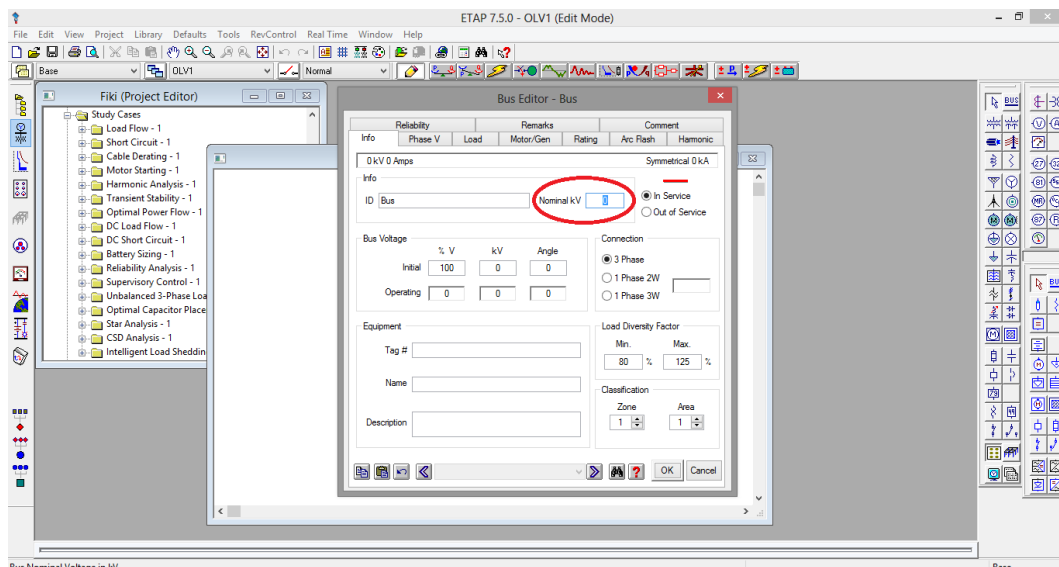
Gambar 2.14 *File* proyek pada ETAP

¹¹ Rahman, Arif. 2009. *Analisa Rugi-Rugi daya Listrik pada Sistem Distribusi Primer di Gardu Induk Bukit Siguntang Palembang dengan Bantuan Software ETAP*. Hal. 20.

- Klik *File*.
- Pilih dan klik *New Project*, maka akan keluar Tabel *Creat New Project File*.
- Ketik nama *file* proyek, pilih *Unit System English* atau *Metric*.
- Terus klik *OK*, kemudian *OK* lagi.
- Maka akan muncul gambar seperti diatas.

2. Pengaturan kapasitas busbar pada ETAP dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Buka *software* ETAP.
- Buat *File* Proyek Baru di ETAP seperti diatas.
- Kemudian, pilih pilihan Bus.
- Kemudian akan keluar tabel Bus seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.
- Isi sesuai data.



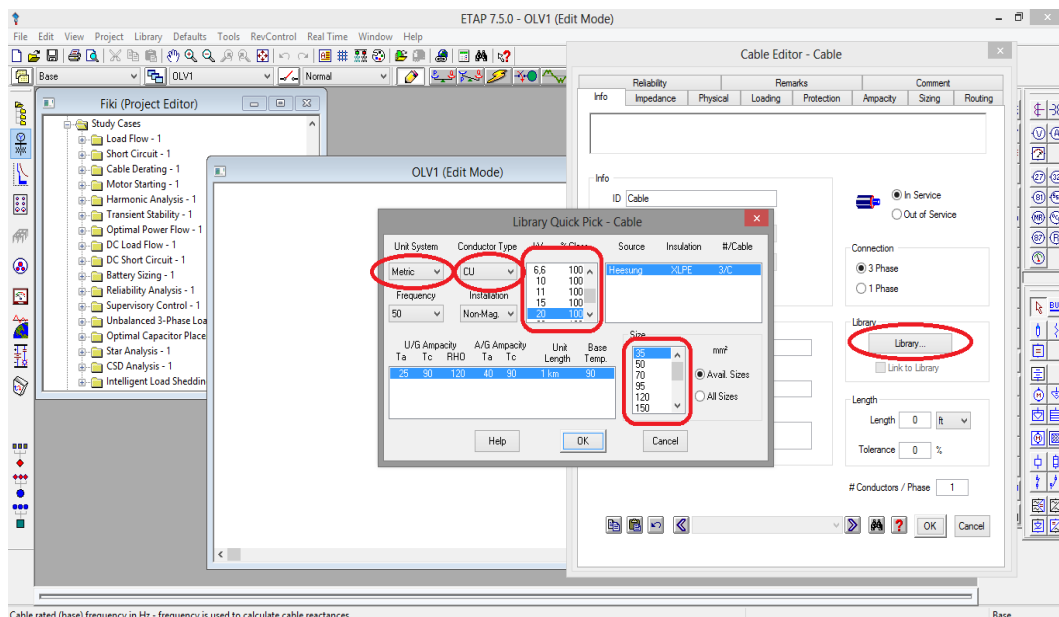
Gambar 2.15 Pengaturan kapasitas busbar pada ETAP

Untuk pengaturan kapasitas busbar, harus dilakukan penyetingan ulang pada busbar yang menerima tegangan sekunder pada tiap – tiap trafo, karena tegangan yang dikeluarkan dari trafo telah dikecilkan, sehingga pengaturan busbar nya pun harus diperkecil agar lebih efisien.

3. Pengaturan impedansi kabel pada ETAP, dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Buka *software* ETAP.
- Buat *File* Proyek Baru di ETAP.
- Klik *defaults*.
- Pilih pilihan *Branch*.
- Kemudian akan keluar tabel *Cable* seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.
- Pilih dan klik *Library*.
- Lalu isi sesuai data.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



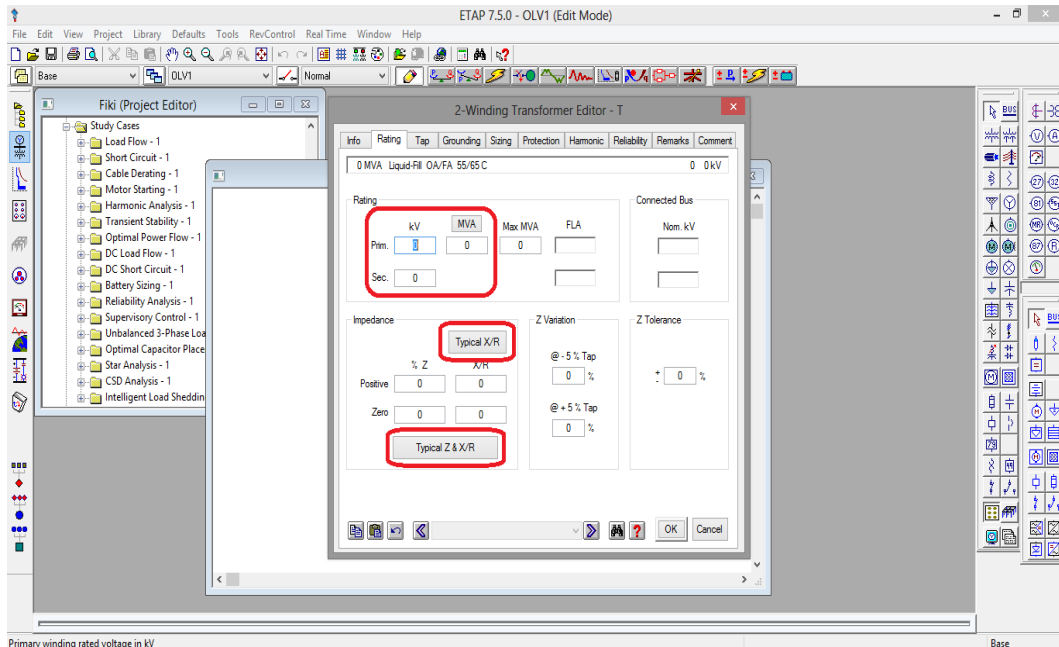
Gambar 2.16 Pengaturan impedansi kabel pada ETAP

4. Pengaturan rating trafo primer dan sekunder, dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Pilih *Defaults*, *Branch*, pilih *Transformer 2W*.
- Pilih *Rating*, kemudian akan keluar tabel winding transformer seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.
- Lalu isi sesuai data. Seperti tegangan primer, tegangan sekunder dan daya trafo.

- Setelah diisi klik *Typical X/R*, dan *Typical Z & R/X*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.16 dibawah ini:



Gambar 2.17 Pengaturan rating trafo primer dan sekunder pada ETAP

Setelah pengaturan dasar pada ETAP selesai, barulah kita dapat merangkai jaringan pada penyulang tertentu yang ada di gardu induk Mariana sesuai dengan alurnya dengan berpedoman pada single line yang ada.

2.8 Global Positioning System (GPS)⁽¹³⁾

GPS adalah sistem untuk menentukan letak di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan (*synchronization*) sinyal satelit. Satelit GPS tidak mentransmisikan informasi posisi saat digunakan, yang ditransmisikan satelit adalah posisi satelit dan jarak penerima GPS dari satelit. Informasi ini diolah alat penerima GPS dan kemudian barulah hasilnya dapat diketahui. Penerima GPS memperoleh sinyal dari beberapa satelit yang mengorbit bumi. Satelit yang mengitari bumi pada orbit pendek ini terdiri dari 24 susunan satelit, dengan 21 satelit aktif dan 3 buah satelit sebagai cadangan. Dengan susunan orbit tertentu,

¹³ PT. PLN (Persero) WS2JB. *Pelatihan Global Positioning System (GPS) untuk Manajemen Distribusi Listrik PT. PLN (Persero) WS2JB*

maka satelit GPS bisa diterima di seluruh permukaan bumi dengan penampakan antara 4 sampai 8 buah satelit. GPS dapat memberikan informasi posisi dan waktu dengan ketelitian sangat tinggi.

Pada prosesnya, GPS menggunakan sebuah alat navigasi agar dapat melakukan proses penandaan sebuah lokasi yang bergantung pada akurasi. Akurasi atau ketepatan perlu mendapat perhatian bagi penentuan koordinat sebuah titik/lokasi. Koordinat posisi ini akan selalu mempunyai ‘faktor kesalahan’, yang lebih dikenal dengan ‘tingkat akurasi’. Misalnya, alat tersebut menunjukkan sebuah titik koordinat dengan akurasi 3 meter, artinya posisi sebenarnya bisa berada dimana saja dalam radius 3 meter dari titik koordinat (lokasi) tersebut. Makin kecil angka akurasi (artinya akurasi makin tinggi), maka posisi alat akan menjadi semakin tepat. Harga alat juga akan meningkat seiring dengan kenaikan tingkat akurasi yang bisa dicapainya. Pada pemakaian sehari-hari, tingkat akurasi ini lebih sering dipengaruhi oleh faktor sekeliling yang mengurangi kekuatan sinyal satelit. Karena sinyal satelit tidak dapat menembus benda padat dengan baik, maka ketika menggunakan alat, penting sekali untuk memperhatikan luas langit yang dapat dilihat.



Gambar 2.18 Alat navigasi GPS Garmin

Pada GPS, hal terpenting yang dibutuhkan dalam pengolahan data adalah titik koordinat. Sebuah titik koordinat dapat ditampilkan dengan beberapa format. Masing-masing pengguna dapat mengatur format ini pada alat navigasi, program MapSource, ataupun program komputer lainnya. Format ini dapat diatur dari

bagian *setting* dari masing-masing program/alat navigasi. Ada beberapa format yang umum digunakan: hddd.ddddd0 ; hddd0mm,mmm' ; hddd0mm'ss.s'' ; +ddd,dddd0. Sehingga sebuah titik dapat ditunjukkan dengan beberapa cara, sebagai contoh: titik S6010.536' E106049.614' sama dengan titik S6.175600 E106.826910 sama dengan titik S6010'32.2'' E106049'36.9'' sama dengan - 6.175600 106.826910. Bagian pertama adalah koordinat *Latitude*, yang diikuti oleh koordinat *Longitude* atau sering disingkat *Lat/Long*.

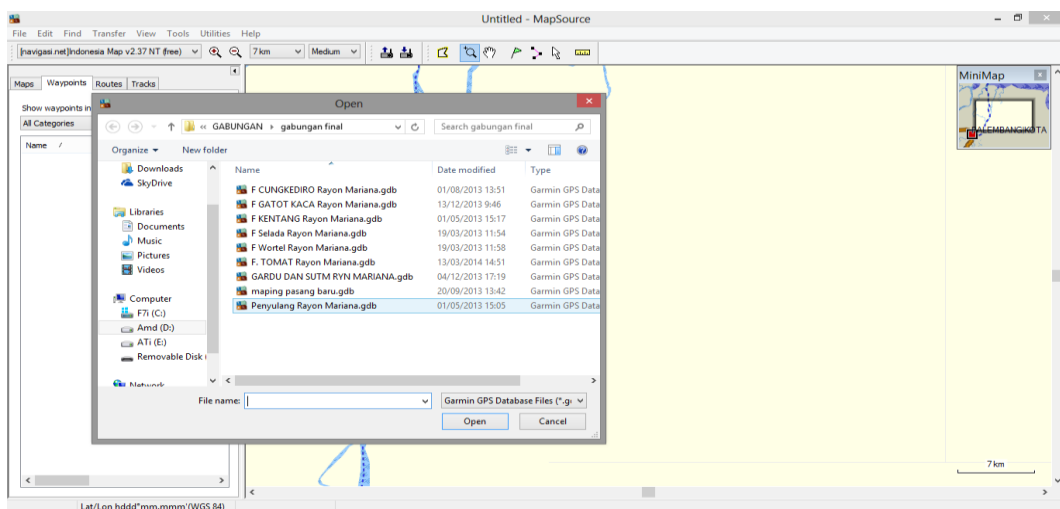
2.9 MapSource⁽¹⁴⁾

Garmin Mapsource adalah penyedia data geografis yang dapat dilihat pada PC dan ditambahkan ke peta dasar dari perangkat Garmin Gps yang cocok. Dengan Mapsource dapat :

- Mentransfer titik jalan yang disimpan, rute dari perangkat GPS dan menyimpannya ke dalam PC.
- Membuat, Melihat, dan mengedit titik arah, rute dan jalur.
- Menemukan item, alamat, dan poin-poin yang dibutuhkan di dalam data.
- Transfer data peta, titik-titik tiang, rute, dan jalan ke peralatan GPS.

Untuk membuka *file* MapSource disimpan :

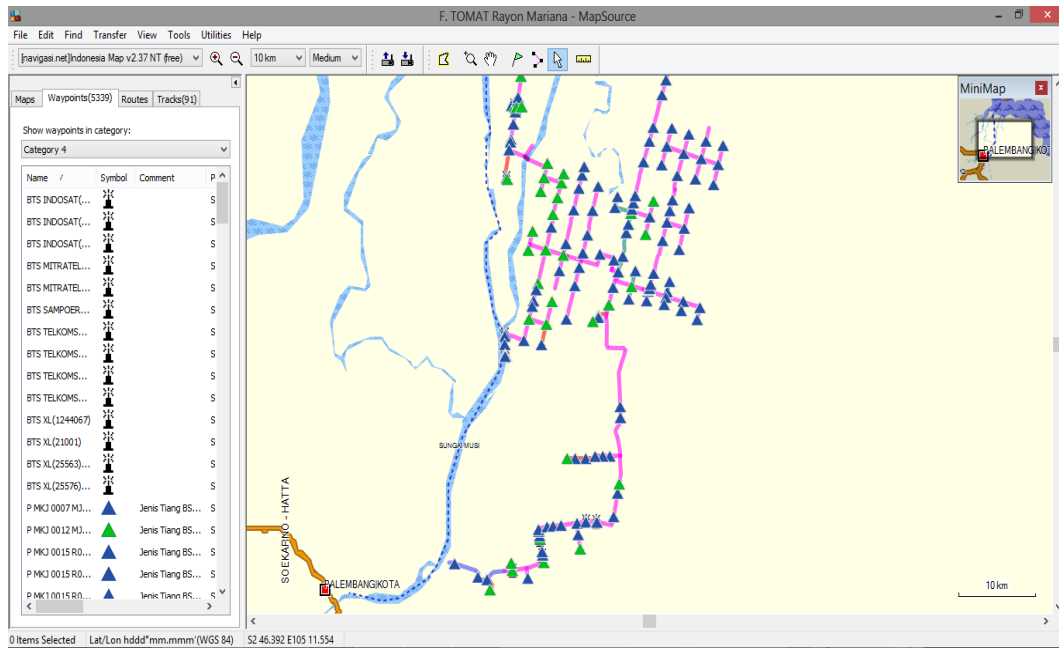
- Buka *software* MapSource.
- Pilih *File*, klik *Open* atau bisa langsung dengan menekan tombol **Ctrl + O**.



Gambar 2.19 Membuka file pada MapSource

¹⁴ (Sumber : *Manual Book mapSource v.6.14 Help*)

- Pilih jenis *file* atau *All Files* pada daftar jenis *file*.
- Cari ke *file* di komputer anda.
- Klik *Open*. *File* akan dibuka dalam MapSource.



Gambar 2.20 File MapSoucre