

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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 ($I R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

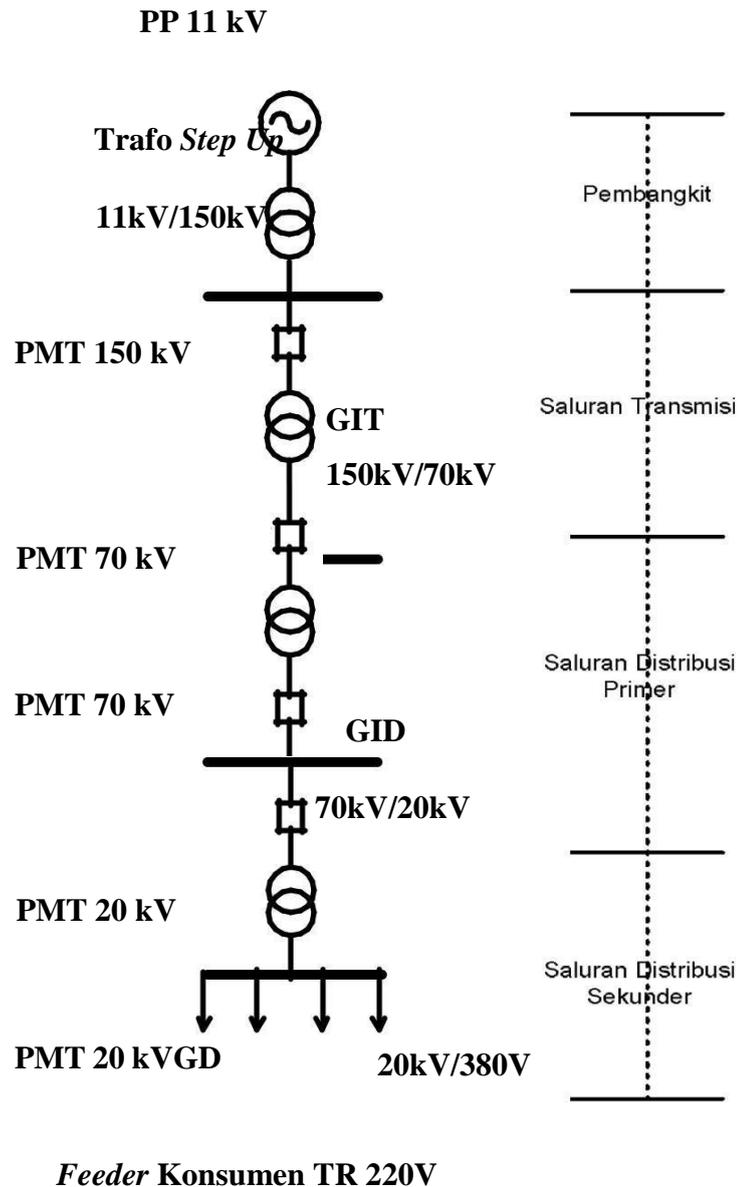
Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 Kv menggunakan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi yang kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi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

Pada wilayah pusat tegangan tinggi ini diturunkan kembali dengan transformator penurun tegangan (*step down*) yang berakibat apabila ditinjau nilai tegangannya maka mulai dari titik sumber sampai titik beban terdapat bagian saluran yang mempunyai nilai tegangan yang berbeda. 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

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

daerah-daerah pusat beban, tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo *step-down*.

Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik²

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

Keterangan:

TR = Tegangan Rendah PP = *Power Plan*
GIT = Gardu Induk Transmisi GID = Gardu Induk Distribusi
GD = Gardu Distribusi

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 Klasifikasi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Berdasarkan ukuran tegangan, jaringan distribusi tenaga listrik terbagi menjadi dua yaitu sistem jaringan distribusi *primer* (20 kV) dan sistem jaringan distribusi *sekunder* (380/220 V).

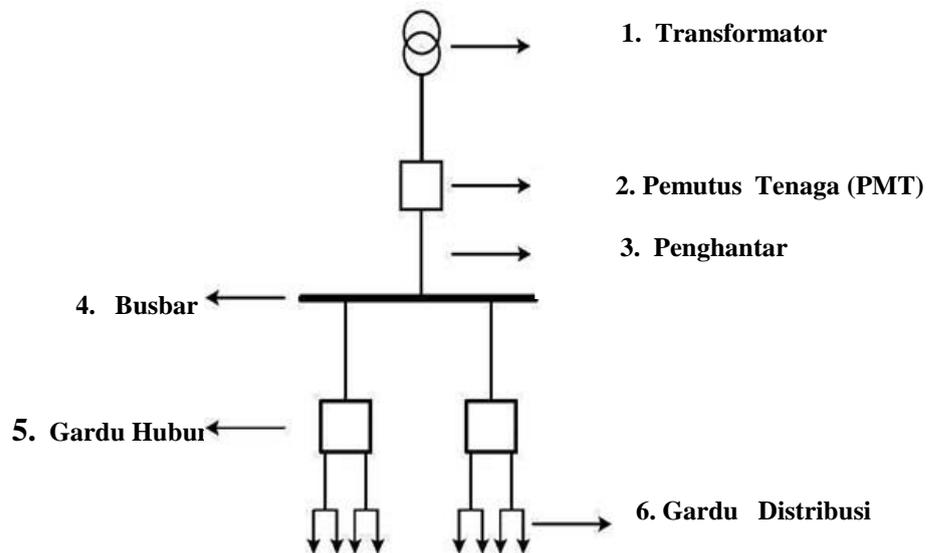
1. Sistem jaringan distribusi primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan menengah jaringan ini terletak antara gardu induk dan gardu distribusi, yang memiliki tegangan standar yaitu 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sistem jaringan distribusi primer menggunakan saluran udara, kabel udara, ataupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan dan kondisi lingkungan. Jaringan distribusi primer direntangkan dari gardu distribusi ke daerah yang di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya
4. Busbar, sebagai titik pertemuan antara trafo daya dengan peralatan lainnya.
5. Gardu hubung, menyalurkan daya ke gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.

6. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV.



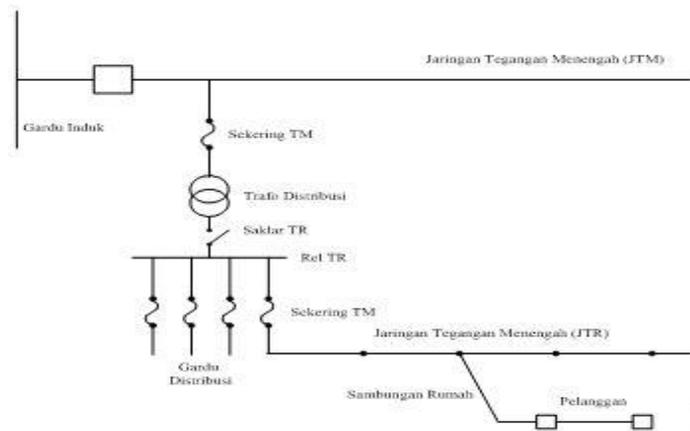
Gambar 2.2 Bagian-bagian Sistem Jaringan Distribusi Primer

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.

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

⁴ Abdul Kadir. 2000. *Distribusi dan Utilitasi Tenaga Listrik.*



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

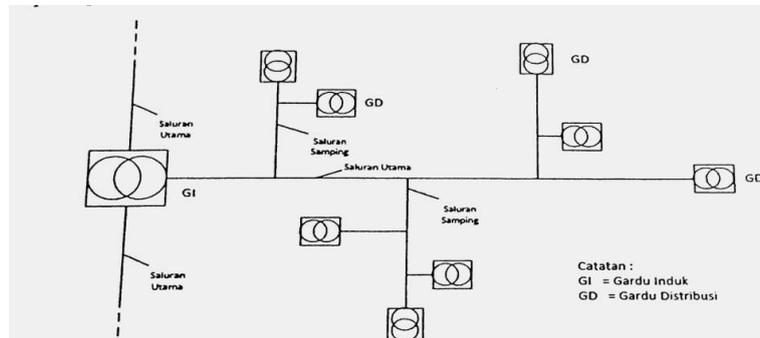
2.2 Konfigurasi Sistem Distribusi³

Sistem jaringan distribusi dibagi menjadi tiga tipe konfigurasi yaitu jaringan distribusi konfigurasi *radial*, konfigurasi *loop* dan konfigurasi *spindel*.

1. Jaringan Distribusi Konfigurasi radial

Jaringan distribusi konfigurasi radial yaitu hubungan beberapa gardu distribusi yang terhubung seri yang disuplai dari busbar Gardu Induk. Konfigurasi ini terdiri dari beberapa penyulang dari gardu induk dan mempunyai sumber tegangan satu arah. Pada penyulang tersebut terdapat gardu distribusi yang terdapat trafo penurun dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Kelemahan dari konfigurasi 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 suplai pada gardu distribusi hanya didapat dari satu arah, sehingga jika mengalami gangguan, maka seluruh penyulang yang disuplai oleh gardu induk tersebut akan padam dan tidak ada alternatif pasokan daya, oleh sebab itu tingkat keandalannya relatif rendah.¹

⁵ Suhadi dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik.



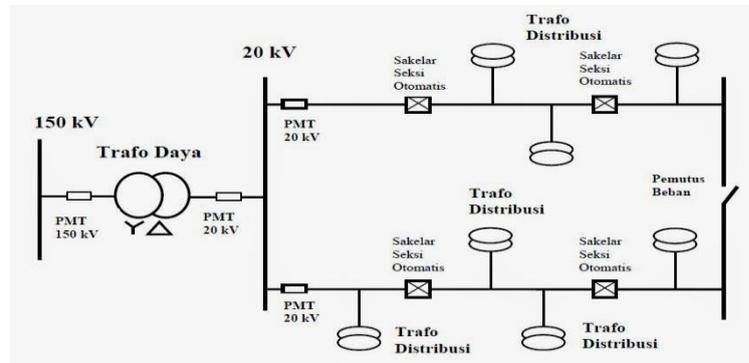
Gambar 2.4 Pola Jaringan Radial²

2. Jaringan distribusi loop

konfigurasi *Loop* merupakan hubungan antara gardu distribusi yang berbentuk lingkaran tertutup (*Loop*). Pada konfigurasi ini terdapat lebih dari satu busbar gardu induk, dan masing-masing penyulang membentuk suatu rangkaian tertutup dengan gardu induk. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah pasokan daya listrik dari gardu induk lebih terjamin. Sebab jika salah satu gardu induk mengalami gangguan maka penyulang akan tetap mendapatkan pasokan dari gardu induk yang lain yang tidak mengalami gangguan. Dan gardu induk yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa mengganggu suplai daya ke gardu distribusi.

Tipe jaringan distribusi *loop* menyalurkan energi listrik mulai dari gardu induk melewati beberapa gardu distribusi kemudian kembali lagi ke sumber. Bila terjadi gangguan pada jaringan *loop*, maka PMT di gardu induk akan membuka dan seluruh daerah jaringan distribusinya akan padam. Pada jaringan ring ini yang menghubungkan dua titik sumber dan perlu dijaga keadalannya sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya arus hubung singkat yang besar. sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

Jaringan distribusi *loop* dapat dilihat pada gambar 2.5.²



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi *Loop*

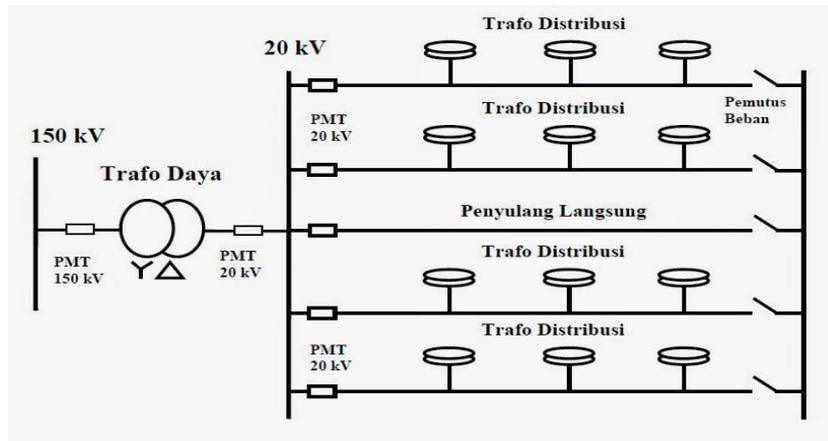
3. Jaringan Distribusi Konfigurasi Spindel

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu pengulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *backup* 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*).

Sistem jaringan *spindel* merupakan kombinasi *radial* dengan *loop* dan dari segi pemasangannya dan operasinya lebih mahal dimana kualitas pelayanan penyaluran energi listrik sangat diutamakan serta rangkaianannya rumit. Sistem jaringan spindel mendapat suplai dari dua sumber atau lebih sehingga tingkat keandalannya terjaga. Jika terjadi gangguan pada jaringan maka dapat diatasi dengan mensuplai tegangan dari beberapa sumber yang masih beroperasi dan tersedia³.

⁶ PT PLN (Persero). Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. buku 1.

⁷ IAEETA. 2017. *Tipe – tipe jaringan distribusi*.



Gambar 2.6 Konfigurasi Spindel (*spindle configuration*)

2.3 Jenis - Jenis Penghantar Pada Sistem Jaringan Distribusi⁴

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:

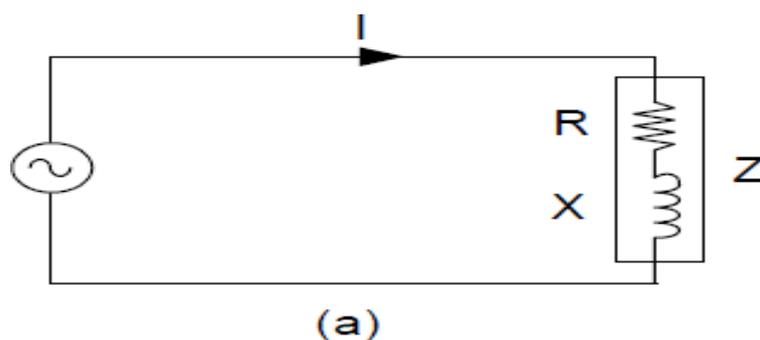
1. AAC "*all-aluminium conductors*", seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC "*all-aluminium-alloy conductors*", seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR "*Aluminium conductor, steel-reinforced*", penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja.
4. ACAR "*aluminium conductor, alloy-reinforced*",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

⁸ T.s.Hutauruk, Transmisi Daya Listrik, PT. Gelora Aksara Pratama, 1996

5. AAC "*all-aluminium conductors*", seluruhnya terbuat dari aluminium.
6. AAAC "*all-aluminium-alloy conductors*", seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
7. ACSR "*Aluminium conductor, steel-reinforced*", penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja.
8. ACAR "*aluminium conductor, alloy-reinforced*", penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran

2.4 Daya Listrik

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). Apabila suatu sumber listrik arus bolak-balik (AC) diterapkan pada komponen impedansi kompleks $Z = R + jX$ dimana $X = 2\pi \cdot fL$ seperti ditampilkan pada gambar 2.12 (a), menghasilkan fasor tegangan $V = |V|\angle \theta$ dan fasor arus $I = |I|\angle \theta$, dalam nilai efektif (rms) seperti digambarkan pada gambar



Gambar 2.7 (a) Rangkaian R dan X

⁹Ramdhani, 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 phasa yaitu:

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk 3 phasa yaitu:

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- S = Daya semu (VA)
- V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)
- V_L = Tegangan *Line-Line* (Volt)
- I/L = Arus Yang Mengalir Pada Penghantar (Ampere)

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 phasa:

$$P = V.I.\cos\theta \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk 3 phasa :

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos\theta_p \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- P = Daya Nyata (Watt)
- V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)
- V_L = Tegangan Linc-Line (Volt)
- I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

¹⁰. T.S. Hutauruk, Transmisi Daya Listrik, P.T Gelora Aksara Pratama, 1996, Hal.61

$\cos \theta_p =$ 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 :

$$Q = V_L \times I_L \times \sin\theta \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk 3 phasa:

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \theta \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

Q = Daya reaktif (VAr)

V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

VL = Tegangan *Line-Line* (Volt)

I = Arus (Amper)

$\sin \theta_p =$ 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) yang tinggi akan meningkatkan sudut dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Adapun rumus untuk menghitung faktor daya adalah:

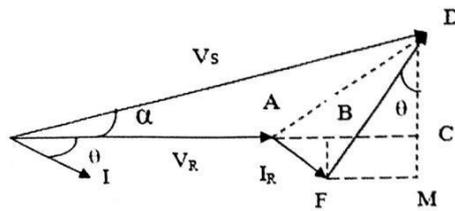
$$\text{Faktor Daya } \cos \theta = \frac{\text{Daya Aktif}}{\text{Daya Semu}} = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.7)$$

¹¹ William D. Stevenson, Jr. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 28.

¹² Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2019. *BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK*. Hal. 25

2.5 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar jatuh 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 2.8 Diagram Fasor Saluran Distribusi

Besarnya *drop* tegangan yang terjadi pada saluran tersebut dapat dirumuskan:

$$\Delta V = \frac{V_s}{V_r} \dots\dots\dots (2.8)$$

Untuk mendapatkan susut tegangan seperti diagram fasor diatas dengan mengasumsikan bahwa \$V_s\$ dan \$V_r\$ berhimpitan.

Berdasarkan penjelasan, maka besar persentase drop tegangan pada saluran tiga fasa dapat ditentukan dengan

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

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

$$\Delta V(1\phi) = (I \times R \cos \phi + I \times X \sin \phi) \dots\dots\dots (2.10)$$

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

¹³ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2019. BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK.Hal.25

¹³ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT. 2019. BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK.Hal.25

Tiga fasa line to line penurunan tegangan adalah $\sqrt{3}$. Dengan demikian persamaan untuk penurunan tegangan 3 fasa menjadi sebagai berikut:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times L \times (R \cos \phi + X \sin \phi) \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

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

2.6 Rugi-Rugi Daya Dalam Jaringan

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, selalu diusahakan agar rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang. Besar rugi daya pada saluran tiga fasa dapat dicari dengan persamaan :

$$P_Z = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \cdot LDF \dots \dots \dots (2.13)$$

Jika besar rugi daya diperoleh, maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P - P_H \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

- | | |
|-------|---|
| P_Z | = Rugi daya pada saluran (MW) |
| P_R | = Besar daya yang diterima (MW) |
| P | = Besar daya yang disalurkan (MW) |
| R | = Tahanan jaringan (Ω / Km) |
| L | = Panjang jaringan (Km) |
| I | = Besar kuat arus pada beban (A) ⁴ |
| LDF | = Load Density Factor (0,333) |

¹⁴ Saadah,Ayati.2015.*Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru.*

LLF = Loss Load Factor

Untuk mencari persentase rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dicari dengan rumus :

$$\% \text{ rugi - rugi daya} = \frac{P_S - P_R}{P_R} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

LLF merupakan koefisien yang diperhitungkan dalam menghitung susut sebagai perbandingan antara rugi-rugi daya rata-rata terhadap rugi daya beban puncak.

Dimana:

$$LLF = 0,3 LF + 0,7 (LF)^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

LF = Load Factor sistem region

2.7 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.

2.7.1 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:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2.17)$$

¹⁵ Hutaeruk, T.S. 1996, *Transmisi Daya Listrik*. Hal. 5.

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:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0 + t_1}{T_0 + t_2} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana:

R_{t2} = Resistansi penghantar pada suhu t_1 (temperatur sebelum operasikonduktor)

R_{t1} = Resistansi penghantar pada suhu t_2 (temperatur operasi konduktor)

t_1 = Temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 = Temperatur akhir ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T_0 adalah sebagai berikut:

T_0 = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100 %

T_0 = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T_0 = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61 %

2.7.2 Induktansi Saluran

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

¹⁶ *Hutauruk, T.S. 1996, Transmisi Daya Listrik. Hal. 6.*

$$L = (0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r}) \times 10^{-7} \text{ H/m) (2.19)$$

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 :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}(2.20)$$

Induktansi dihitung dengan konsep Geometric Means Radius (GMR). Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar. Untuk menghitung nilai t penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}(2.21)$$

2.7.3 Reaktansi Saluran

Jika induktansi dalam satuan Henry dikalikan dengan $2 \cdot \pi \cdot f$ (frekuensi dalam satuan Hz), maka hasilnya dikenal sebagai reaktansi induktif yang diukur dalam satuan ohm. Jadi besarnya nilai satuan reaktansi induktif saluran :

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times l(2.22)$$

Dimana :

$$X_L = \text{Reaktansi induktif saluran } (\Omega/\text{km})$$

$$2\pi = \text{Sudut arus bolak balik.}$$

$$L = \text{Induktansi saluran (H)}$$

$$f = \text{Frekuensi sistem (50 Hz)}^5$$

¹⁷ Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. 1995. Hal. 152.

2.7.4 Impedansi Saluran

Impedansi Saluran Impedansi suatu saluran distribusi dapat kita tentukandengan persamaan dasar sebagai berikut :

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot \theta \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

Z_L : Impedansi Saluran

R : Resistansi Saluran

X_L : Reaktansi Induktif

2.8 ETAP

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 bias mengetahui bus mana yang tidak beroperasi optimal. Untuk menganalisa suatu rangkaian diperlukan data rangkaian yang lengkap dan akurat sehingga hasil perhitungan ETAP bisa dipertanggung jawabkan.

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 seperi trafo, generator dan penghantar.ETAP memungkinkan anda untuk bekerja secara langsung dengan diagram satu garis grafis dan sistem kabel bawah tanah raceway.

¹⁸ Sugiarto, Bambang. 2010. *Evaluasi Rugi Daya dan Tegangan Jatuh di Peryulang Jati Dengan Menggunakan ETAP Power Station.*

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. ETAP menggabungkan konsep-konsep baru untuk mementkan prangkat 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 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).

2.8.1 Kemampuan program

ETAP menyediakan kemampuan program berikut:

1. Elemen Bus	: tidak terbatas
Terminal beban (Load)	: tidak terbatas
Cabang	: tidak terbatas
Alat / Kabel Feeder	:
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
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

2.8.2 Langkah Penggunaan ETAP

Berikut beberapa prosedur yang digunakan dalam menjalankan ETAP *PowerStation* 12.6 yaitu :

1. Mempersiapkan *plant*
 Persiapan yang perlu dilakukan dalam analisa atau desain dengan bantuan ETAP *PowerStation* 12.6.0 adalah :
 1. *Single Line* Diagram
 2. Data peralatan baik elektris maupun mekanis
 3. *Library* untuk mempermudah editing data
2. Membuat Proyek Baru
 1. Klik tombol *New* atau klik menu *File* lalu akan muncul kotak dialog sebagai berikut :

2. Lalu ketik nama *file project*. Misalnya : PENYULANG SUNGKAI. Lalu klik Ok atau tekan *Enter*.
 3. Akan muncul kotak dialog *User Information* yang berisi data pengguna *software*. Isikan nama anda dan deskripsi proyek anda. Lalu klik Ok atau tekan *Enter*
3. Menggambar *Single Line Diagram*

Menggambar *single line* diagram dilakukan dengan cara memilih simbol peralatan listrik pada menu bar disebelah kanan layar. Klik pada simbol, kemudian arahkan kursor pada media gambar. Untuk menempatkan peralatan pada media gambar, klik kursor pada media gambar.

Untuk mempercepat proses penyusunan *single line* diagram, semua komponen dapat secara langsung diletakkan pada media gambar. Untuk mengetahui kontinuitas antar komponen dapat di-cek dengan *Continuity Check* pada menu bar utama.
 4. Editing Data Peralatan

Data peralatan yang diperlukan oleh ETAP *PowerStation* untuk analisa sangat detail sehingga kadang membuat beberapa pengguna kesulitan dalam memperoleh data tersebut. Untuk mempermudah memasukkan data, maka harus diidentifikasi terlebih dahulu keperluan data. Sebagai contoh, analisa hubung singkat membutuhkan data yang lebih kompleks daripada analisa aliran daya.
 5. Melakukan Studi/Analisa

Dengan ETAP *PowerStation* dapat dilakukan beberapa analisa pada sistem kelistrikan yang telah digambarkan dalam *single line diagram*. Studi-studi tersebut adalah :

 1. *Load Flow Analysis (LF)*
 2. *Short Circuit Analysis (SC)*
 3. *Motor Starting Analysis (MS)*
 4. *Unbalanced Load Flow Analysis (ULF)*

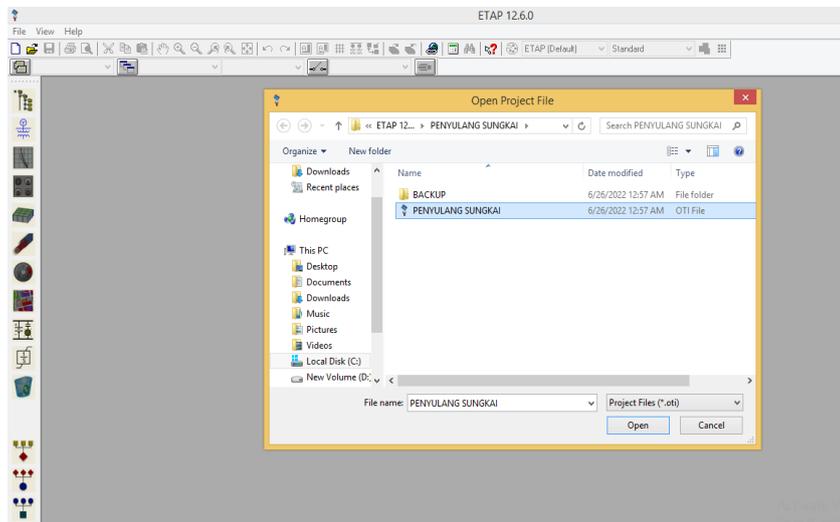
5. *Transient Stability Analysis (TS)*
6. *Cable Ampacity Derating Analysis (CD)*
7. *Power Plot Interface*
6. Menyimpan File *Project (Save Project)*

Masuk menu bar File, pilih *Save* atau click toolbar 

7. Membuka File *Project (Open Project)*

1. Masuk menu bar File, pilih *Open File* lalu tentukan direktori tempat menyimpan filenya (*browse*) atau click toolbar 

2. Pilih file yang dituju kemudian open.



Gambar 2.14 Membuka File Project

8. Menutup Project (*Close Project*)

Klik menu File lalu klik *Close Project* atau click toolbar Close 

9. Keluar dari Program (*Exit Program*)

Klik menu File lalu klik *Exit* untuk keluar dari program ETAP.