



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik¹

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.

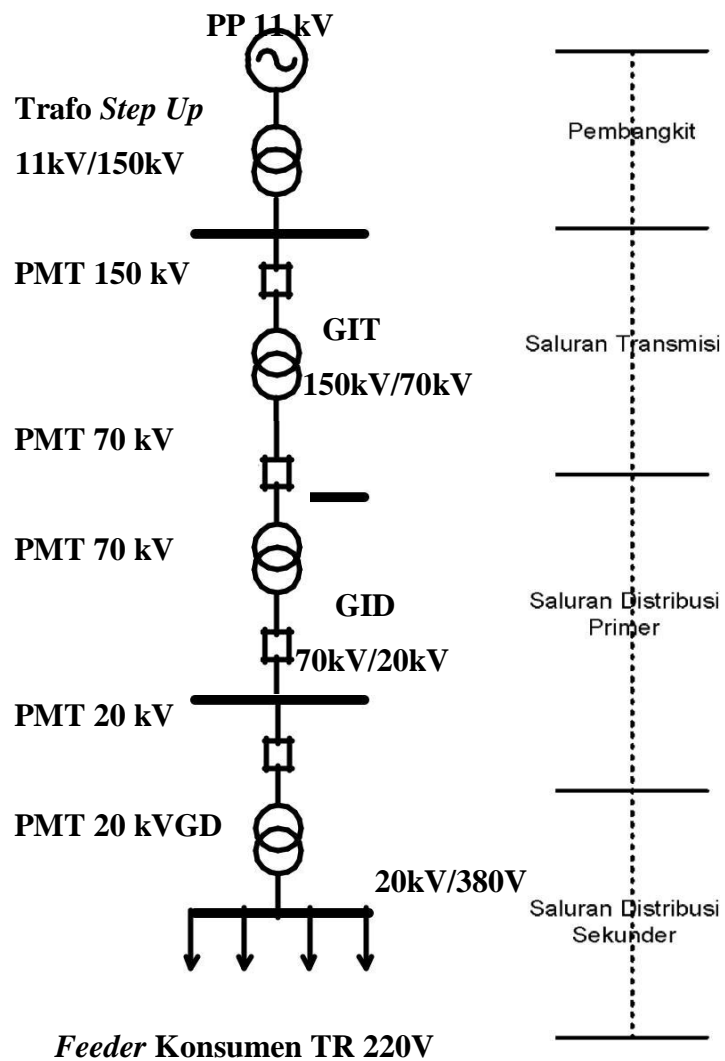
Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 Kv menggunakan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi yang kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi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

Pada 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

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 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

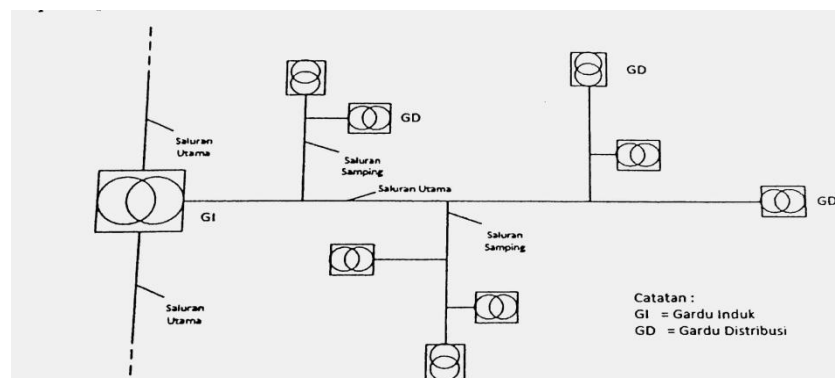
Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi 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 Distribusi³

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep

2.2.1 Jaringan radial

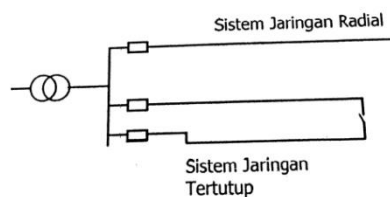
Yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi "black-out" atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.



Gambar 2.2 Pola Jaringan Radial²

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

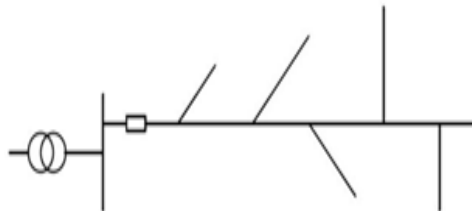
³.PT. PLN (PERSERO). 2010. *Buku 1 Kriteria Disain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. bab 4 hal. 3-7.*

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

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

a. Konfigurasi Tulang Ikan (*FishBone*)

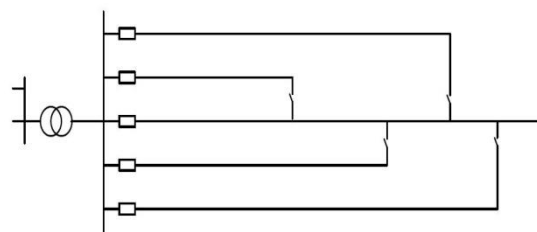
Konfigurasi *Fishbone* ini adalah tipikal konfigurasi dari Saluran Udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan *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*)

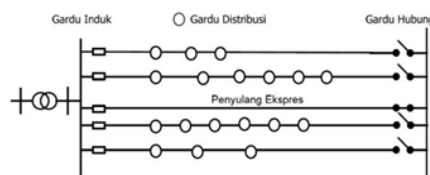
Konfigurasi Saluran Udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.



Gambar 2.5 Konfigurasi Kluster (*leap frog*)

c. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

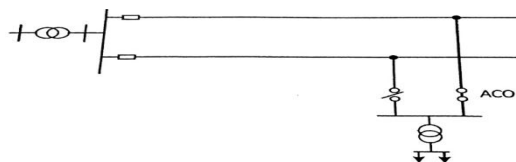
Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu pengulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *backup* suplai jika terjadi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



Gambar 2.6 Konfigurasi Spindel (*spindle configuration*)

d. Konfigurasi Fork

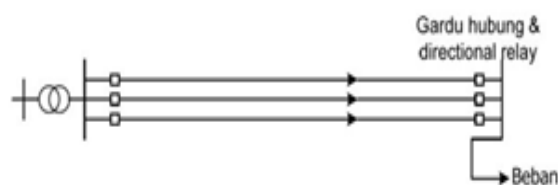
Konfigurasi ini memungkinkan 1 (satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari Time*) Jika penyulang waktu sangat singkat dengan penyulang cadangan secara efektif dalam menggunakan fasilitas *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)

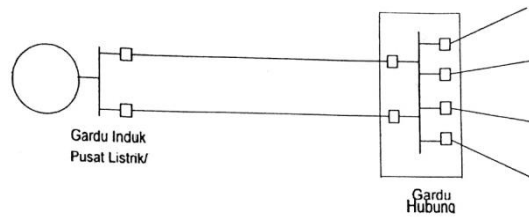
Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.



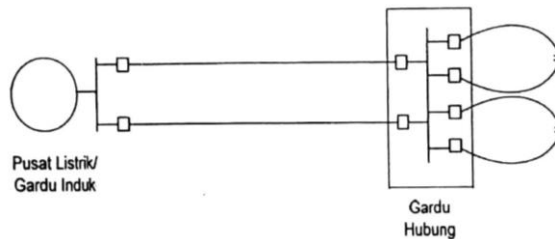
Gambar 2.9 Konfigurasi Jala - jala (*grid, mesh*)

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.

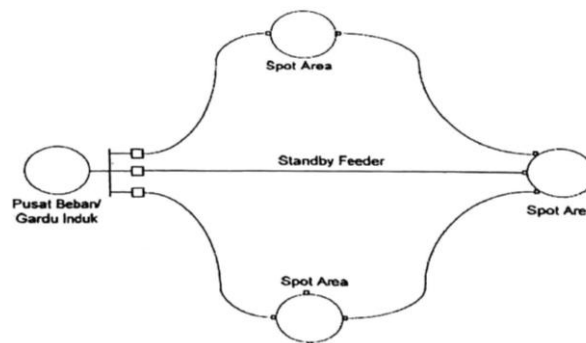


Gambar 2.10 Konfigurasi Struktur Garpu



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 Primer⁴

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

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

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).

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:

$$S = V.I \dots\dots\dots(2.1)^6$$

Untuk 3 fasa yaitu:

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

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



$$|SI| = P^2 + Q^2 = 3V_L I_L \dots \dots \dots (2.2)^4$$

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 (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:

$$P = V.I.\cos\theta \dots \dots \dots (2.3)^6$$

Untuk 3 phasa :

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

Dimana:

- P = Daya Nyata (Watt)
- V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)
- V_L = Tegangan Linc-Line (Volt)
- I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)
- Cos θ_p = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

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. 2



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 :

$$Q = V.I.\sin\theta \dots\dots\dots(2.5)^6$$

Untuk 3 phasa:

$$Q = 3VLIL \sin\theta_p \dots\dots\dots(2.6)^4$$

Dimana:

- Q = Daya reaktif (VAr)
- V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)
- VL = Tegangan *Line-Line* (Volt)
- I = Arus (Amper)
- Sin θ_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:

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

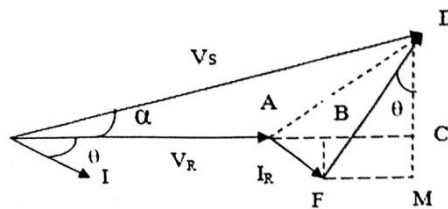
⁶ Ir. Wahyudi Sarimun N.,MT, 2011. BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK. Hal. 25

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

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

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 2.13 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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

ΔV = Drop tegangan (V)

V_s = Tegangan awal (V)

V_r = Tegangan akhir (V)

R = Resistansi saluran (Ω)

X = Reaktansi saluran (Ω)

I = Arus saluran (A)

$\cos \phi$ = power factor

$\sin \phi$ = sudut reaktif

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 terlampau berkurang.

Besar rugi daya pada saluran tiga fasa dapat dicari dengan persamaan :

$$P_Z = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \cdot LDF \dots \dots \dots (2.12)^7$$

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

$$P_R = P - P_H \dots \dots \dots (2.13)$$

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)

LDF = Load Density Factor (0,333)

LLF = Loss Load Factor

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

⁷ Hadiyanto, Ahmad Rifqi. 2006. *Monitoring Susut Per Penyulang*. PT.PLN (Persero).

puncak. Nilai LLF dapat dicari dengan persamaan :

$$LLF = 0,3 LF + 0,7 LF^2 \dots\dots\dots(2.14)^8$$

Dimana :

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:

$$R = \rho l/A \dots\dots\dots(2.15)^9$$

Dimana:

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

I = Panjang saluran (m)

A = Luas penampang penghantar (mm^2)

⁸ Ray, Subir. 2007. Electrical Power Systems. New Delhi: Prentice Hall Of India Private Limited.

⁹ Hutaeruk, T.S. 1996, Transmisi Daya Listrik. Hal. 5.

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:

$$\frac{R_{t2}}{r_{t1}} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots(2.16)^7$$

Dimana:

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

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 Reaktansi saluran

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

$$L = (0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r}) \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots(2.17)^{10}$$

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

¹⁰ Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. 1995. Hal. 152.

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:

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \dots\dots\dots(2.18)^8$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.19)$$

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

$$X_L = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.20)^{11}$$

Dimana:

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω/km)

2π = Sudut arus bolak balik.

F = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.8 ETAP¹²

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

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

¹¹ B.L. Theraja. 1983. *Worked Examples in Electrical Technology*. Techouse. Hal. 236.

¹² Sugiarto, Bambang. 2010. *Evaluasi Rugi Daya dan Tegangan Jatuh di Peryulang Jati Dengan Menggunakan ETAP Power Station*. Hal. 6-7.

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.¹³

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. ETAP menggabungkan konsep-konsep baru untuk mementkan 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.

¹³ Rahman, Arif. 2009. *Analisa Rugi-Rugi daya Listrik pada Sistem Distribusi Primer di Gardu Induk Bukit Siguntang Palembang dengan Bantuan Software ETAP*. Hal.16.

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 program¹⁴

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

¹⁴ (sumber: *Mamual Heip ETAP Power Station 7.5*)



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



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

2.8.2 Persyaratan sistem¹²

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: Mamual Heip ETAP Power Station 7.5)