

BAB II

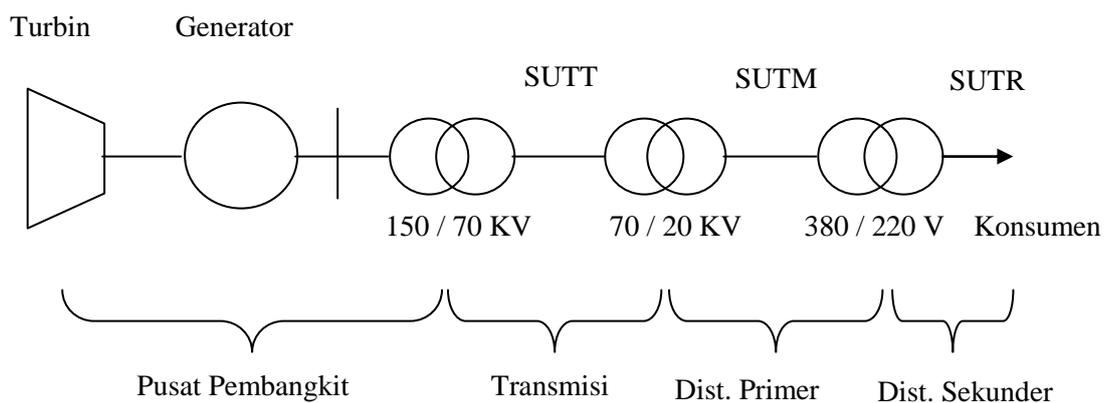
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik seperti generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban-beban listrik. Peranan utama dari suatu sistem tenaga listrik adalah menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen-konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut. Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas tiga bagian sistem, yaitu :

1. Bagian pembangkitan tenaga listrik
2. Bagian penyaluran/transmisi tenaga listrik
3. Bagian distribusi tenaga listrik

Sebagai ilustrasi, diagram satu garis sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut (gambar 2.1)



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Energi Listrik

Berdasarkan pembagian diatas, fungsi dari masing–masing subsistem dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pembangkitan berperan sebagai sumber daya tenaga listrik.
2. Sistem transmisi berfungsi sebagai penyalur daya listrik secara besar-besaran dari pembangkit ke bagian sistem distribusi/konsumen.
3. Sistem distribusi berperan sebagai distributor energi listrik ke konsumen-konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

2.2 Jenis Transformator

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan di bidang kelistrikan, trafo sebagai salah satu komponen yang banyak digunakan pada pembuatan alat-alat elektronik mengalami perkembangan yang mengarah pada beragamnya jenis-jenis trafo. Berdasarkan cara kerja dan kegunaannya, trafo dibagi lagi ke dalam beberapa jenis, yaitu sebagai berikut.

2.2.1 Transformator *step up*

Merupakan jenis trafo yang lilitan pada kumparan kedua (sekunder) lebih banyak dari pada di kumparan pertama (primer). Trafo ini berfungsi untuk meningkatkan tegangan listrik, dan biasa digunakan dalam mesin-mesin pembangkit listrik. Pada mesin-mesin tersebut, trafo *step up* bermanfaat untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan generator listrik sehingga transmisi listrik jarak jauh menjadi lebih cepat dan hemat energi.

2.2.2 Transformator *step down*

Trafo ini adalah kebalikan dari trafo *step up* yaitu, trafo *step down* memiliki lilitan pada kumparan pertama (primer) lebih banyak dari pada di kumparan kedua (sekunder). Fungsinya pun sebaliknya dari trafo *step up*, yakni sebagai pengurang tegangan. Trafo ini sering kali dimanfaatkan dalam proses kerja adaptor AC-DC.

2.3 Transmisi Tenaga Listrik

Saluran transmisi berfungsi untuk mengirim atau mentransmisikan energi listrik dari pusat pembangkit sampai pada gardu distribusi dengan menggunakan tegangan tinggi dan menengah. Pada sistem distribusi tegangan menengah tiga fasa tanpa penghantar netral atau nol, sehingga memiliki tiga kawat. Berbeda halnya dengan tegangan rendah yang mempergunakan penghantar netral atau nol, sehingga terdapat empat kawat. Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia mengenal antara lain hantaran udara dan kabel tanah. Hantaran udara sering disebut juga saluran udara merupakan penghantar listrik tegangan menengah maupun rendah yang dipasang diatas tiang–tiang listrik di luar bangunan. Sedangkan pada kabel tanah penghantarnya dibungkus dengan bahan isolasi. Kabel tanah dapat dipakai untuk tegangan menengah maupun tegangan rendah.

Komponen-komponen utama dari saluran transmisi udara terdiri dari :

- a. Menara atau tiang transmisi
- b. Isolator
- c. Kawat penghantar

2.3.1. Menara atau tiang transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton atau kayu umumnya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (di bawah 70 kV).



Gambar 2.2 Tiang Transmisi

2.3.2. Isolator

Isolator biasanya disebut bahan penyekat. Penyekatan listrik terutama dimaksudkan agar arus listrik tidak dapat mengalir jika pada bahan penyekat tersebut diberi tegangan listrik. Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Isolator jenis pasak digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja (20 – 30 kV).



Gambar 2.3 Isolator Jenis Pasak

2.3.3. Kawat Penghantar

Jenis kawat penghantar udara yang biasa digunakan pada saluran transmisi tegangan menengah adalah : AAC (*All Aluminium Conductor*), yaitu penghantar yang seluruh terbuat dari aluminium. AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), yaitu penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium campuran. AAACS (*All Aluminium Alloy Conductor Shielded*), yaitu penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium campuran yang memiliki isolasi.

Ada 2 jenis kabel menurut tempat pemasangannya, yaitu :

1) Kabel Udara

a. Kabel jenis AAC

AAC (*All Aluminium Conductor*), yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium keras yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti baja.

Kabel jenis ini bentuknya berurat banyak dengan ukurannya antara 16 – 1000 mm.



Gambar 2.4 Kabel AAC

b. Kabel jenis AAAC

AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium campuran yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti Kabel jenis ini mempunyai ukuran diameter antara 1,50 – 4,50 mm, dengan bentuk fisiknya berurat banyak.



Gambar 2.5 Kabel AAAC

2. Kabel bawah tanah (NYFGbY)

Kabel ini berisolasi dan berselubung PVC berperisai kawat baja atau aluminium untuk tegangan kerja sampai dengan 0,6/1 kV. Dengan adanya pelindung kawat pita baja, kabel ini memungkinkan ditanam langsung ke dalam tanah tanpa pelindung tambahan.



Gambar 2.6 Kabel bawah tanah

2.4 Distribusi Tenaga Listrik

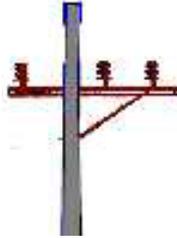
Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Dalam menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen diperlukan suatu jaringan tenaga listrik. Dilihat dari fungsinya, jaringan distribusi dibedakan atas jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan dari trafo gardu induk ke gardu distribusi, yang lebih dikenal dengan jaringan tegangan menengah, sedangkan distribusi sekunder adalah jaringan distribusi dari trafo gardu distribusi hingga konsumen atau beban, yang lebih dikenal dengan jaringan tegangan rendah. Indonesia memakai tegangan 20 kV untuk jaringan tegangan menengah. Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu–gardu induk. Sedangkan komponen-komponen jaringan distribusi adalah Jaringan distribusi primer (suatu jaringan dengan sistem 20 kV), gardu distribusi (suatu sistem dengan peralatan utama trafo untuk menurunkan tagangan), jaringan Distribusi sekunder (suatu jaringan dengan sistem tegangan 110V, 220V, 380V).

2.4.1 Menurut susunan salurannya

1. Saluran Konfigurasi horisontal

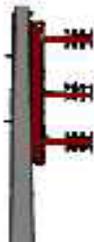
Bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/terhadap netral, atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horisontal.



Gambar 2.7 Konfigurasi Horizontal

2. Saluran Konfigurasi Vertikal

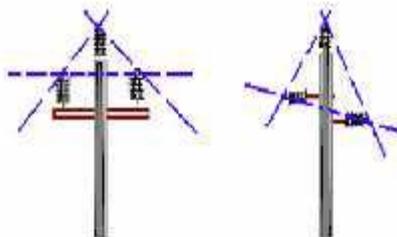
Bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.



Gambar 2.8 Konfigurasi Vertikal

3. Aluran Konfigurasi Delta

Bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga



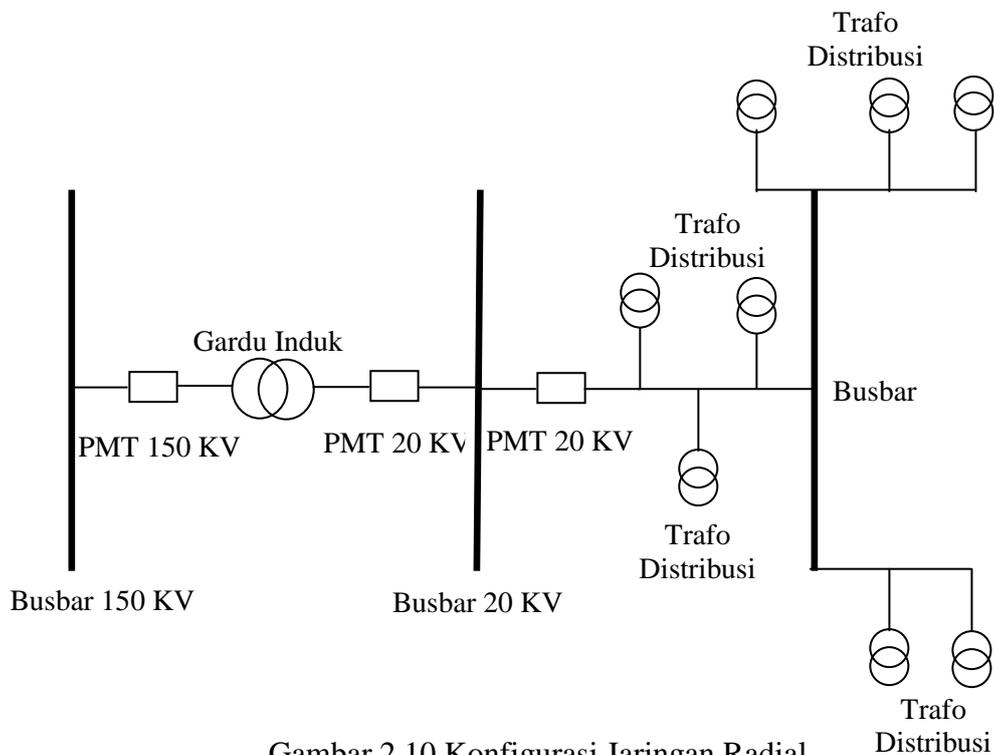
Gambar 2.9 Konfigurasi Delta

2.4.2 Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan bentuk jaringan

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik yaitu mempunyai konsep konfigurasi :

1) Jaringan Distribusi Radial

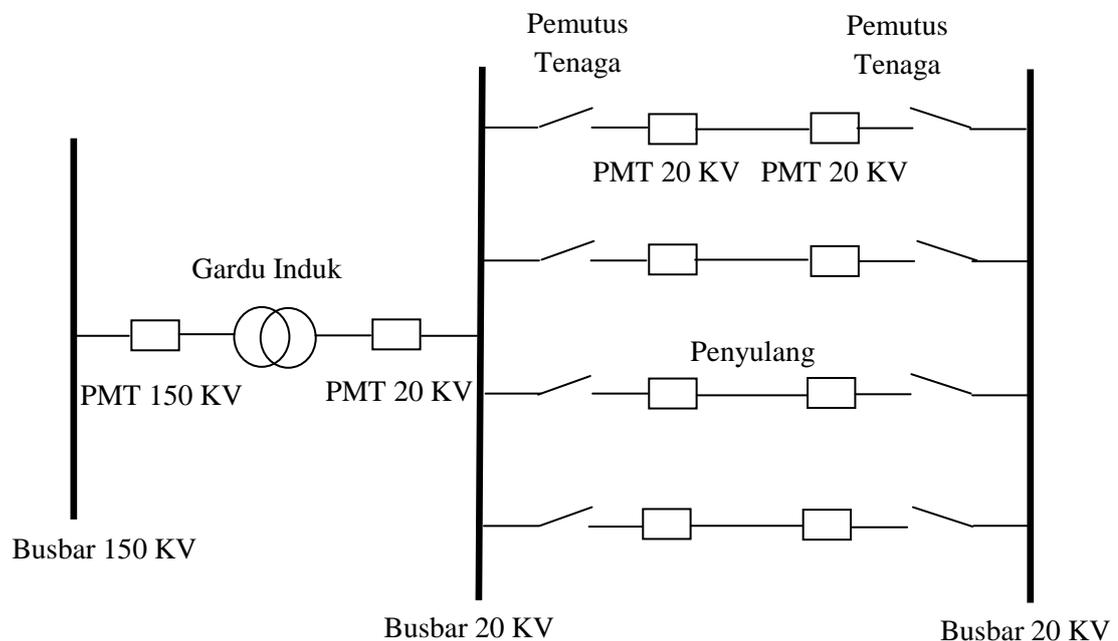
Bentuk Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar. Oleh karena kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Sistem distribusi dengan pola radial seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Gambar 2.10 Konfigurasi Jaringan Radial

3) Sistem Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* ditunjukkan seperti pada gambar 2.12 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain lain). Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan setiap penyulang langsung terkoneksi ke gardu pelanggan khusus. Sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

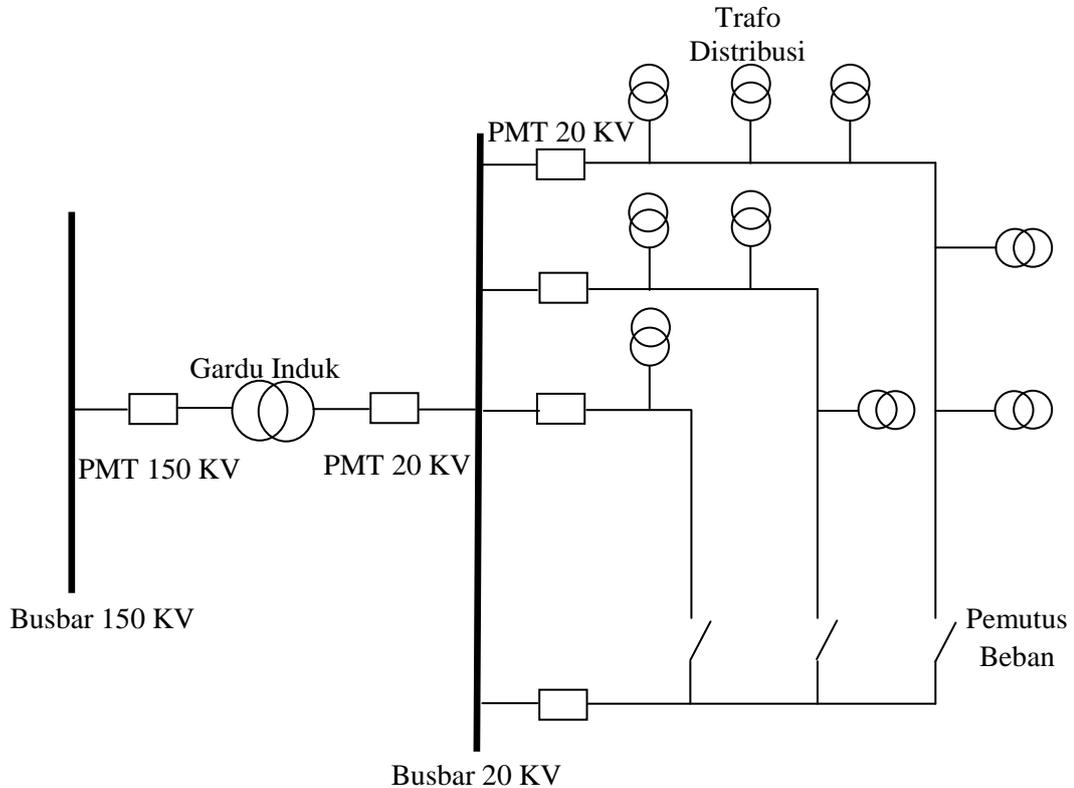


Gambar 2.12 Sistem Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

4) Jaringan distribusi spindle

Sistem Spindel seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) dengan sumber tegangan yang berasal dari Gardu Induk Distribusi (GID) dan kemudian disalurkan pada sebuah Gardu Hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang langsung (*express*) yang akan

satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.



Gambar 2.14 Sistem konfigurasi gugus

2.5 Parameter-Parameter Saluran Distribusi

2.5.1 Resistansi saluran

Nilai tahanan saluran transmisi dipengaruhi oleh resistivitas konduktor, suhu, dan efek kulit (*skin effect*). Tahanan merupakan sebab utama timbulnya susut tegangan pada saluran transmisi. Dikenal dua macam tahanan, yaitu tahanan arus searah dan tahanan arus bolak-balik. Tahanan arus searah ditentukan oleh nilai resistivitas material konduktor :

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- R = Tahanan arus bolak – balik (Ω)
 ρ = Tahanan jenis penghantar / resistansi ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)
 l = Panjang Saluran / Konduktor (m)
 A = Luas penampang Penghantar (mm^2)

Dimana :

- ρ Al (Alluminium) = $2,38 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (20°C)
 ρ Cu (Tembaga) = $1,77 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (20°C)

Efek kulit adalah gejala pada arus bolak balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut makin besar kearah permukaan kawat. Akan tetapi bila kita hanya meninjau frekuensi kerja (50 Hertz atau 60 Hertz) maka pengaruh efek kulit itu sangat kecil dan dapat diabaikan.

Efek sekitar ialah pengaruh dari kawat lain yang berada di samping permukaan kawat yang pertama (yang ditinjau) sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi bila radius konduktor kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan.

2.5.2 Reaktansi saluran

Dalam hal arus bolak–balik medan sekeliling konduktor tidaklah konsta melainkan berubah–ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi.

Untuk besarnya reaktansi ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak–balik yaitu :

$$X_L = 2\pi \cdot F \cdot L \dots\dots\dots(2.2)$$

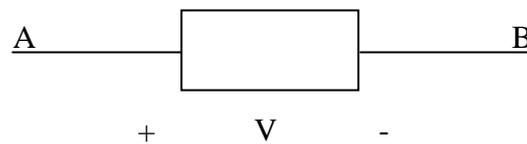
Dimana :

$$X_L = \text{Reaktansi Kawat penghantar } (\Omega).$$

2.6 Tegangan

Tegangan adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Atau, dengan kata lain, jika suatu muatan sebesar satu coulomb digerakkan atau dipindahkan, maka akan terdapat beda potensial pada kedua terminalnya. Kerja yang dilakukan sebenarnya adalah energi yang dikeluarkan. Jadi, berdasarkan pengertian di atas, tegangan adalah energi per satuan muatan.

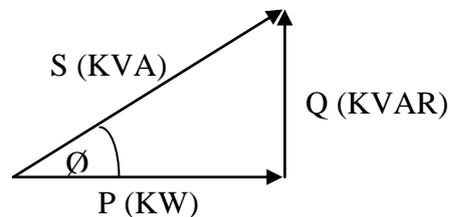
Satuannya: Volt (V)



Gambar 2.15 Beda Potensial Antara 2 Terminal A-B

2.7 Daya Listrik

Daya listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yakni daya semu, daya aktif (nyata) dan daya reaktif. Dapat ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.16 Segitiga Daya Kompleks

Selanjutnya daya kompleks ditandai dengan S dan diberikan melalui,

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.4)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Persamaan diatas merupakan daya terlihat (*apparent power*), satuannya dalam Volt-Ampere dan satuan besarnya dalam KVA atau MVA.

Daya terlihat memberikan indikasi langsung dari energi listrik dan digunakan sebagai suatu rating satuan perangkat daya.

2.7.1 Daya semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun distribusi atau hasil penjumlahan daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ini umumnya tertera di kWh meter. Dimana daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

$$\text{Untuk 1 fasa : } S = V \times I \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana, S = Daya Semu (VA).

2.7.2 Daya aktif

Daya aktif (daya nyata) adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam seperti : gerakan motor listrik atau mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

$$\text{Untuk 1 Fasa : } P = V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Untuk 3 Fasa : } P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana : P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan yang mengalir (KV)

I = Besar arus yang mengalir (A)

Cos ϕ = Faktor Kerja (Standard PLN 0,85)

2.7.3 Daya reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak terpakai dalam suatu sistem tenaga listrik. Adanya daya reaktif juga sering dipengaruhi oleh beban induktif atau kapasitif suatu rangkaian listrik.

$$\text{Untuk 1 Fasa : } Q = V \times I \times \text{Sin } \phi \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Untuk 3 Fasa : } Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Sin } \phi \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

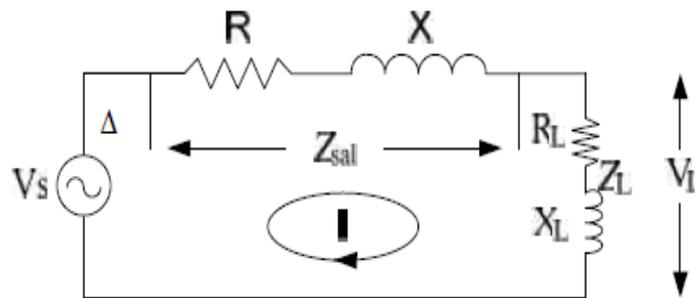
Q = Daya Reaktif (VAR)

$\sin \varphi$ = Faktor kerja (tergantug besarnya φ)

2.8 Rugi-Rugi Pada Jaringan Distribusi Listrik

Setiap penyaluran energi listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu terjadi kerugian-kerugian. Nilai kapasitansi saluran distribusi biasanya kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian dapat dibuat rangkaian ekuivalen saluran distribusi seperti gambar berikut :

Dalam gambar ini diberikan diagram pengganti dari saluran distribusi, di sini kapasitansi saluran diabaikan,



Gambar 2.17 Diagram Pengganti Saluran Distribusi

Keterangan :

V_s = Tegangan sumber (Volt)

V_R = Tegangan pada sisi penerima (Volt)

Z_{sal} = Impedansi saluran (Ω)

R_L = Resistansi beban (Ω)

X_L = Reaktansi beban (Ω)

Z_L = Impedansi beban (Ω)

ΔV = Susut tegangan (Volt)

Oleh karena arus rangkaian saluran distribusi merupakan hubungan seri dimana kapasitansi shunt saluran diabaikan maka arus ujung pengirim dan ujung penerima adalah sama.

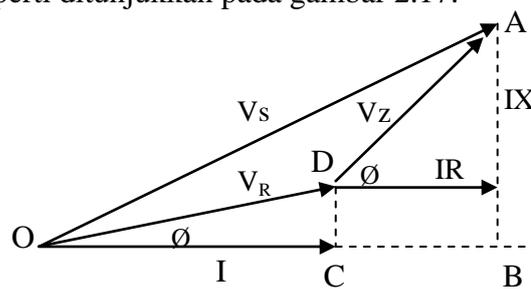
$$I_S = I_R \dots\dots\dots(2.12)$$

2.9 Tegangan Jatuh

Suatu jaringan distribusi primer dikatakan kondisi tegangannya jelek apabila pada jaringan tersebut variasi tegangannya turun atau naik lebih tinggi dari suatu harga yang diizinkan, sehingga mempengaruhi peralatan-peralatan listrik konsumen. Menurunnya tegangan pada jaringan disebabkan oleh adanya jatuh tegangan pada jaringan/saluran atau peralatan yang membangun sistem jaringan distribusi primer tersebut. Besarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi primer didefinisikan sebagai selisih tegangan antara pangkal pengirim dengan tegangan pada ujung penerima, atau dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta V = V_S - V_R \dots\dots\dots(2.13)$$

Berdasarkan rangkaian ekivalen saluran pada gambar dapat digambarkan diagram fasor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal (*lagging*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.18 Diagram Fasor Saluran Distribusi

$$\begin{aligned} OA &= V_S \\ OC &= OD \cdot \cos \phi \\ &= V_R \cdot \sin \phi \end{aligned}$$

$$CD = OD \cdot \sin \emptyset$$

$$= V_R \cdot \sin \emptyset$$

$$V_S = \sqrt{(OB)^2 + (BA)^2}$$

$$= \sqrt{(V_R \cdot \cos \emptyset + IR)^2 + (V_R \cdot \sin \emptyset + IX)^2}$$

$$V_Z = IR + IX$$

$$V_R = V_S - (IR \cdot \cos \emptyset + IX \cdot \sin \emptyset)$$

$$V_S - V_R = I (R \cdot \cos \emptyset + X \cdot \sin \emptyset)$$

$$\Delta V = I (R \cdot \cos \emptyset + X \cdot \sin \emptyset)$$

Untuk sistem 3 fasa dengan panjang saluran, maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot l (R \cdot \cos \emptyset + X \cdot \sin \emptyset) \dots \dots \dots (2.14)$$

Karena besar arus 3 fasa menjadi :

$$I_{3\emptyset} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \emptyset} \dots \dots \dots (2.15)$$

Maka untuk besar rugi-rugi tegangan saluran distribusi ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{P \cdot l}{V \cdot \cos \emptyset} (R \cdot \cos \emptyset + X \cdot \sin \emptyset) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

$$S = \frac{P}{\cos \emptyset} \dots \dots \dots (2.17)$$

Berdasarkan persamaa Δ tegangan dapat juga ditulis sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{S \cdot l}{V} (R \cdot \cos \emptyset + X \cdot \sin \emptyset) \dots \dots \dots (2.18)$$

Besarnya persentase rugi-rugi tegangan didefinisikan sebagai persentase rugi-rugi tegangan pada jaringan distribusi primer dengan mengambil referensi pada tegangan pengiriman, maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l}{V} (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \times 100\% \dots \dots \dots (2.19)$$

Karena besar arusnya 3 phasa menjadi :

$$I_{3\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \dots \dots \dots (2.20)$$

Maka besarnya persentase kerugian tegangan dapat di tentukan dalam persamaan berikut ini :

$$\% \Delta V = \frac{P \cdot l}{V^2 \cdot \cos \phi} (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \times 100\% \dots \dots \dots (2.21)$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka besar persentase rugi-rugi pada saluran distribusi dapat dihitung dengan rumus :

$$\% V \text{ rugi} = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan :

- V = tegangan kerja sistem (volt)
- ΔV = rugi-rugi tegangan (volt)
- $\% \Delta V$ = persentase rugi-rugi tegangan
- P = daya nyata (watt)
- S = daya semu (VA)
- I = arus yang melewati saluran (ampere)
- R = resistansi saluran (Ω/km)
- X = reaktansi saluran (Ω/km)
- l = panjang saluran (km)
- $\cos \phi$ = faktor kerja

2.10 ETAP Software – Electrical Power System Analysis

Electrical Transient Analysis Program (ETAP) adalah suatu software analisis yang *comprehensive* untuk mendesain dan mensimulasi suatu sistem rangkaian tenaga. Analisa yang dijalankan oleh ETAP yang digunakan oleh penulis

adalah *power flow*, *Drop tegangan*, *power factor*, dan losses jaringan. ETAP juga bisa memberikan warning terhadap bus – bus yang *undervoltage* dan *overvoltage* 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 dipertanggung jawabkan.

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

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

2.10.1 Virtual Reality Operasi

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

2.10.2 Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrik, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisik nya, tapi juga memberikan informasi melalui raceways yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (load flow analysis) dan analisa hubung singkat (short-circuit analysis) yang

membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan ampacity derating suatu kabel yang memerlukan data fisik routing.

2.10.3 Simplicity in Data Entry

Etap Power Station memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

ETAP Power Station dapat melakukan penggambaran single line diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni Load Flow (aliran daya), Short Circuit (hubung singkat), motor starting, harmonisa, transient stability, protective device coordination, dan cable derating.

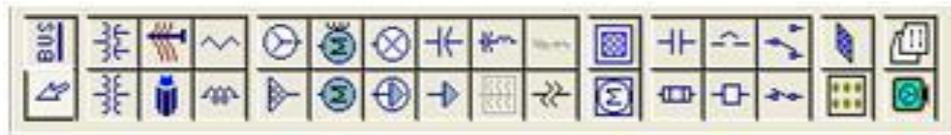
ETAP PowerStation juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. Library ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah :

- **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- **Standar yang dipakai**, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- **Study Case**, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

2.10.4 Elemen AC Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Komponen elemen *ac* pada *software power station* ETAP dalam bentuk diagram satu garis ditunjukkan pada Gambar, kecuali elemen-elemen IDs, penghubung bus dan status. Semua data elemen *ac* dimasukkan dalam editor yang telah dipertimbangkan oleh para ahli teknik. Daftar seluruh elemen *ac* pada *software power station* ETAP ada pada *AC toolbar*.



Gambar 2.19 Toolbar AC Pada ETAP

2.10.5 Elemen-elemen AC di ETAP

1. Transformator

Transformator 2 kawat sistem distribusi dimasukkan dalam *editor power station software* transformator 2 kawat pada *power station software* ETAP ditunjukkan Gambar Simbol transformator 2 kawat.



Gambar 2.20 Simbol transformator 2 kawat di ETAP

2. Generator

Generator sinkron sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam *editor power station* ETAP berupa rating KV, rating MW, dan mode kerja yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor generator. Simbol generator sinkron pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.21 Simbol Generator di ETAP

3. Load

Beban listrik sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam *editor power station* ETAP berupa rated kV dan MVA yang ditampilkan pada bagian atas informasi editor load. Di ETAP terdapat dua macam beban, yaitu beban statis dan beban dinamis. Simbol generator sinkron pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.22 Simbol beban statis dan dinamis di ETAP

4. Pemutus Rangkaian

Merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek. Simbol pemutus rangkaian di ETAP ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.23 Simbol pemutus rangkaian di ETAP

5. Bus

Bus AC atau *node* sistem distribusi tenaga listrik dimasukkan dalam *editor power station software* ETAP. Editor bus sangat membantu untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik. Generator, motor dan beban statik adalah elemen yang dapat dihubungkan dengan beberapa bus yang diinginkan. Simbol bus pada *power station software* ETAP ditunjukkan Gambar.



Gambar 2.24 Simbol bus di ETAP

2.11 Elemen-elemen di ETAP

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

- Data Generator
- Data Transformator
- Data Kawat Penghantar
- Data Beban
- Data Bus

2.11.1 Elemen Aliran Daya

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



Gambar 2.25 Toolbar Load Flow di ETAP

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

- *Run Load Flow* adalah *icon toolbar* aliran daya yang menghasilkan atau menampilkan hasil perhitungan aliran daya sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram satu garis.
- *Update Cable Load Current* adalah *icon toolbar* untuk merubah kapasitas arus pada kabel sebelum load flow di running

- *Display Option* adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
- *Alert* adalah *icon* untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
- *Report Manager* adalah *icon* untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk report yang dapat dicetak.

2.11.2 Elemen Hubung Singkat

Short-Circuit Analysis pada Etap Power Station menganalisa gangguan hubung singkat tiga phasa, satu phasa ke tanah, antar phasa dan dua phasa ke tanah pada sistem tenaga listrik. Program Short-Circuit Analysis Etap PowerStation menghitung arus total hubung singkat yang terjadi. Etap Power Station menggunakan standar ANSI/IEEE (seri C37) dan IEC (IEC 909 dan lainnya) dalam menganalisa gangguan hubung singkat yang bisa dipilih sesuai dengan keperluan. Untuk memulai Short-Circuit Analysis maka single line diagram (SLD) sistem tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen serta peralatan yang digunakan.

2.11.3 Memberi Gangguan Pada Bus

Untuk dapat melakukan analisa hubung singkat ini maka pada bus yang akan dianalisa harus diberi gangguan dengan cara pada bus yang diinginkan ada gangguan di klik kanan setelah itu pilih option fault, jika ingin mengembalikan seperti semula pilih option don't fault (lihat gambar).



Gambar 2.26 Toolbar Short Circuit di ETAP

Adapun toolbar short circuit analysis ada dua macam standar yang dipilih, yaitu :

1. Toolbar ANSI Standard



Gambar 2.27 Toolbar Short Circuit ANSI Standard di ETAP

- 3-Phase Fault Device Duty : untuk menganalisa gangguan 3 phasa.
- 3-Phase Faults - 30 Cycle Network : untuk menganalisa gangguan 3 phasa pada system dengan waktu 30 cycle.
- LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - 1/2 Cycle: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa selama 1/2 cycle
- LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - 1.5 to 4 Cycle: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa antara 1,5 sampai 4 cycle.
- LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - 30 Cycle: untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa selama 30 cycle
- Save Fault kA for PowerPlot: untuk studi lebih lanjut dengan program powerplot yang berhubungan dengan koordinasi.
- Short circuit Display Options: untuk mengatur hasil short circuit yang ditampilkan sesuai dengan peralatan yang operasi.
- Short circuit Report Manager: untuk menampilkan hasil short circuit
- Halt Current Calculation: untuk menghentikan proses running short circuit
- Get Online Data: untuk menyalin data online jika computer interkoneksi dengan menggunakan PSMS (online feature)
- Get Archived Data: untuk menyalin data online jika computer terinterkoneksi.

2. Toolbar IEC Standard



Gambar 2.28 Toolbar Short Circuit IEC Standard di ETAP

- 3-Phase Faults - Device Duty (IEC909): untuk menganalisa gangguan 3 phasa sesuai standar IEC 909.
- LG, LL, LLG, & 3- Phase Faults (IEC 909) : untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa dengan standar IEC 909.
- 3-Phase Faults - Transient Study (IEC 363) : untuk menganalisa gangguan satu phasa ke tanah , antar phasa, dua phasa ke tanah dan 3 phasa dengan standar IEC 363.
- Save Fault kA for Power Plot : untuk studi lebih lanjut dengan program powerplot yang berhubungan dengan koordinasi.
- Short circuit Display Options : untuk mengatur hasil short circuit yang ditampilkan sesuai dengan peralatan yang operasi.
- Short circuit Report Manager : untuk menampilkan hasil short circuit
- Halt Current Calculation : untuk menghentikan proses running short circuit
- Get Online Data : untuk menyalin data online jika computer interkoneksi dengan menggunakan PSMS (online feature)
- Get Archived Data : untuk menyalin data online jika computer terinterkoneksi.