

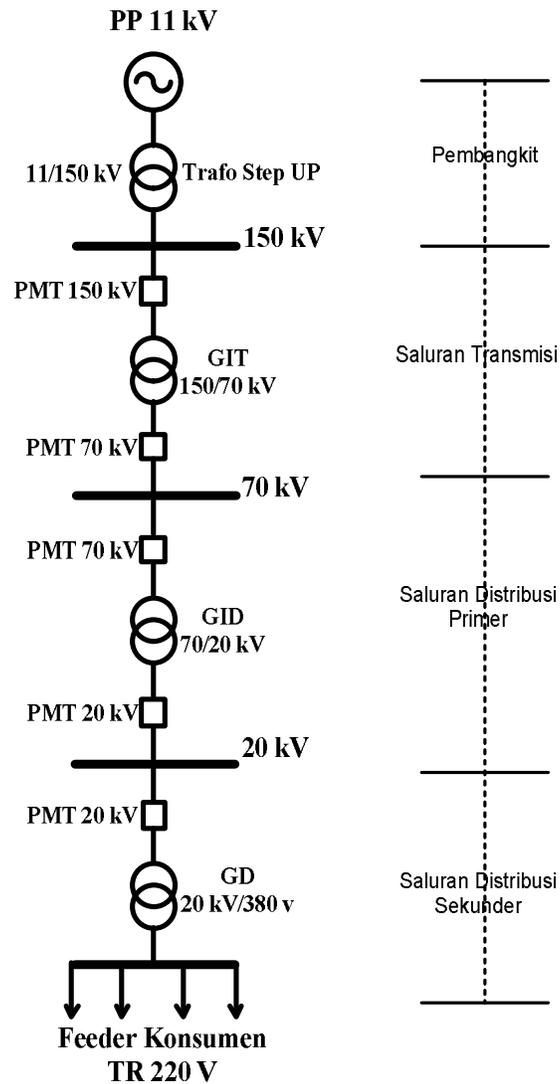


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik^[9]

Sistem distribusi merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk menggunakan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV menggunakan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi yang kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi menurunkan tegangannya menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220V/380V. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen. 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 perlengkapannya, selain itu menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Oleh karena itu, pada daerah-daerah pusat beban, tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo *step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Adapun gambar dari system listrik, dapat dilihat pada gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik^[4]

Keterangan:

TR = Tegangan Rendah

PP = *Power Plan*

GIT = Gardu Induk Transmisi

GID = Gardu Induk Distribusi

GD = Gardu Distribusi



Untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian besar yaitu :

- a. Jaringan Distribusi Primer, yaitu jaringan tenaga subtransmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah (20 kV).
- b. Jaringan Distribusi Sekunder, yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke beban/konsumen. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan rendah (220 V/380V).

Setelah saluran transmisi mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang merupakan suatu daerah industri atau suatu kota, tegangan melalui gardu induk (GI) diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20 kV. Setiap gardu induk (GI) merupakan pusat beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu. Bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik selalu berubah. Perubahan daya yang terjadi di pusat pembangkit ini bertujuan untuk mempertahankan tenaga listrik tetap pada frekuensi 50 Hz. Proses perubahan ini dikoordinasikan dengan Pusat Pengaturan Beban.

Tegangan yang diterima di titik-titik beban pada jaringan distribusi lebih kecil dari tegangan yang disalurkan. Hal ini disebabkan adanya rugi tegangan di sepanjang jaringan listrik yang diakibatkan oleh pemakaian beban listrik, panjang saluran, luas penampang saluran, impedansi saluran dan nilai faktor kerja yang buruk. Akibat dari rugi tegangan ini ialah menimbulkan rugi daya dan mempengaruhi efisiensi penyaluran ke konsumen.

Baik buruknya suatu sistem distribusi dinilai dari beberapa faktor, diantaranya^[9]:

- a) Kontinuitas pelayanan
- b) Fleksibilitas
- c) Kualitas daya
- d) Pertimbangan ekonomis
- e) Kondisi dan situasi lingkungan



2.2 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik^[9]

Secara umum, saluran tenaga listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

2.2.1 Menurut Jenis/Tipe Konduktornya^[9]

1. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan tiang dan perlengkapannya yang dibedakan atas :
 - Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
 - Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
2. Saluran bawah tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).
3. Saluran bawah laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*).

2.2.2. Menurut Susunan Rangkaiannya^[9]

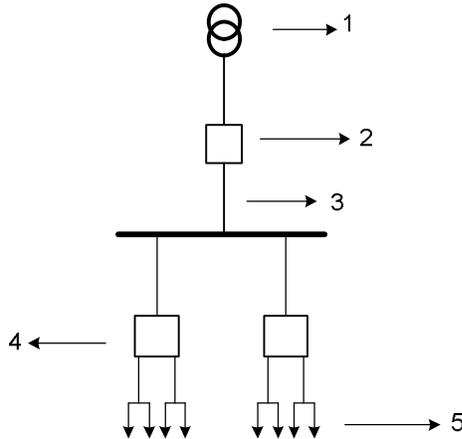
Dari uraian diatas telah disinggung bahwa sistem distribusi dibedakan menjadi dua yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

1. Jaringan Distribusi Primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan



di suplay tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah gambar bagian-bagian distribusi primer secara umum yang dapat dilihat pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Bagian-Bagian Sistem Distribusi Primer^[9]

Keterangan :

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Transformator daya | 4. Gardu Hubung |
| 2. Pemutus tegangan | 5. Gardu Distribusi |
| 3. Penghantar | |

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya.
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya.
4. Gardu hubung, berfungsi menyalurkan daya ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.
5. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah.



a. Jaringan Distribusi Primer Menurut Bahan Konduktornya^[2]

Jaringan distribusi SUTM 20 KV pada umumnya menggunakan jenis kawat yaitu saluran yang konduktornya tidak dilapisi isolasi sebagai pelindung luar (telanjang). Tipe demikian digunakan 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*). Oleh karena itu ada beberapa macam jenis konduktor, yaitu:

a. AAC (*All-Aluminium Conduktor*)

Kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.

b. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conduktor*)

Kawat penghantar yang terbuat dari campuran aluminium.

c. ACSR (*All Conduktor, Steel-Reinforce*)

Kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

d. ACAR (*Aluminium Conduktor, Alloy- Reinforced*)

Kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.



b. Jaringan Distribusi Primer Menurut Susunan Rangkaian^[9]

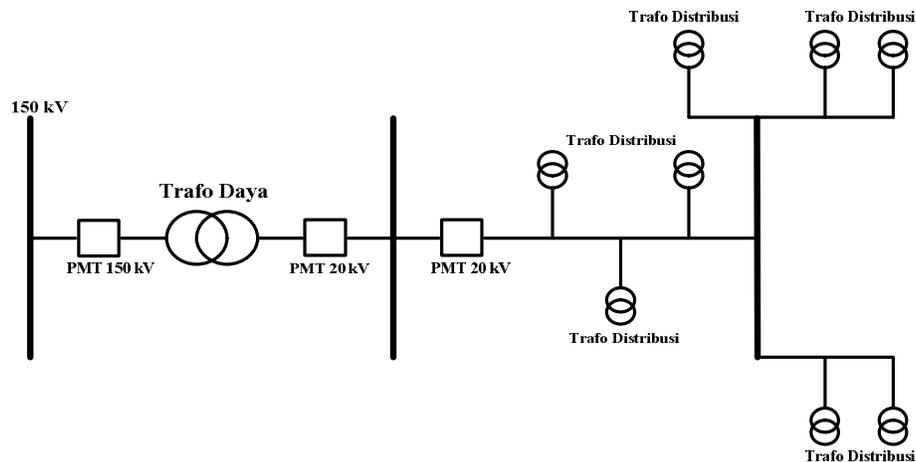
Secara umum susunan suatu jaringan tenaga listrik mempunyai jenis-jenis konsep susunan rangkaian diantaranya, yaitu :

1. Sistem Radial^[9]

Sistem radial ini merupakan suatu sistem distribusi tegangan menengah yang paling sederhana, murah, banyak digunakan terutama untuk sistem yang kecil/kawasan pedesaan. Proteksi yang digunakan tidak rumit dan keandalannya paling rendah.

Keuntungan :

1. Mudah mengoperasikannya.
2. Sistem pemeliharaannya lebih murah.
3. Bentuknya sederhana.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Sistem Radial^[8]

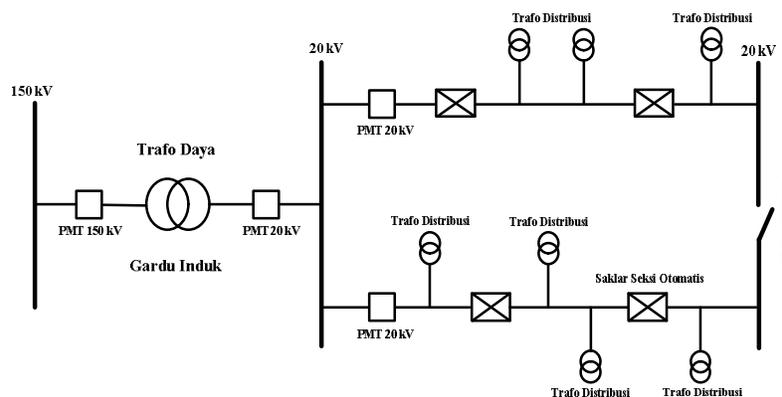


Kerugiannya :

1. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
2. Kontinuitas pelayanannya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami "black out" secara total.

2. Sistem Loop^[9]

Pada sistem loop terbuka, bagian-bagian *feeder* tersambung melalui alat pemisah (*disconnectors*), dan kedua ujung *feeder* tersambung pada sumber energi. Pada suatu tempat tertentu di *feeder*, alat pemisah sengaja dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada azasnya, sistem ini terdiri atas dua *feeder* yang dipisahkan oleh suatu pemisah, yang dapat berupa sekring, alat pemisah dan saklar daya. Terlihat pada gambar 2.4 bila terjadi gangguan, bagian saluran dari *feeder* yang terganggu dapat dilepas dan disambung pada *feeder* yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan yang relatif kecil.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Sistem Loop^[8]

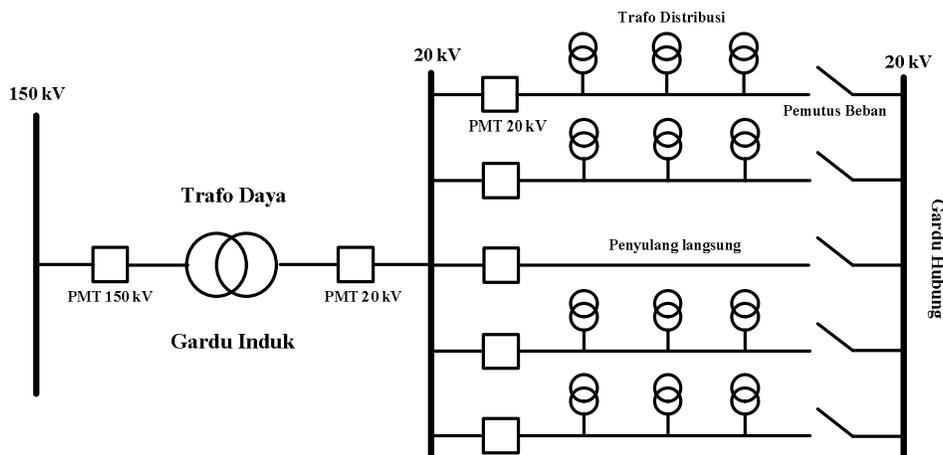


Jaringan ini merupakan pengembangan dari sistem radial. Dengan diperlukannya kehandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasang dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi, karena hal ini diperlukan untuk manuver beban pada saat terjadi gangguan.

Keuntungan dan Kerugian :

1. Secara teknis lebih baik dari sistem radial karena kualitas dan kontinuitas pelayanan daya lebih baik. (+)
2. Biaya sedikit lebih mahal karena dibutuhkan pemutus beban lebih banyak. (-)

3. Sistem *Spindle*



Gambar 2.5 Jaringan Sistem Distribusi *Spindle*^[8]

Sistem *spindle* merupakan sistem yang relatif handal karena disediakan satu buah *express feeder* yang merupakan *feeder/penyulang* tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung/GH refleksi. Sistem ini banyak digunakan pada jaringan SKTM. Sistem ini relatif mahal karena biasanya dalam pembangunannya sekaligus untuk mengatasi perkembangan beban dimasa yang akan datang. Proteksinya relatif sederhana hampir sama dengan sistem *open*



loop. Biasanya di tiap-tiap feeder dalam sistem *spindel* disediakan gardu tengah (*middle point*) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

2. Jaringan Distribusi Sekunder^[9]

Jaringan distribusi sekunder terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar 2.1).

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut :

- 1) Papan pembagi pada trafo distribusi.
- 2) Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- 3) Saluran Layanan Pelanggan (SLP) ke konsumen/pemakai.
- 4) Alat Pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta *fuse* atau pengaman pada pelanggan.

2.3 Parameter Saluran Distribusi

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 jauh (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. Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

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 analisis sistem tenaga.

2.3.1 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:

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \Omega^{[3]} \quad (2.1)$$

R_{dc} = tahanan arus searah (Ω)

ρ = tahanan jenis penghantar / resistivitas ($\Omega \text{ m}$)

l = panjang saluran/konduktor (m)

A = Iuas penampang penghantar (m^2)

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



$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{T_0+t2}{T_0+t1} \quad (2.2)$$

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 (°C)

t_2 = Temperatur akhir (°C)

T_0 = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

($T_0 = 228$ untuk aluminium dengan konduktivitas 60 %)

2.3.2 Reaktansi Saluran

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

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r}\right) \times 10^{-7} H/m \quad [11] \quad (2.3)$$

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 :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad [11] \quad (2.4)$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.5)$$

Dari persamaan 2.1 maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan 2.3 di bawah ini :



$$X_L = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L^{[2]} \quad (2.6)$$

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω/km)

2π = Sudut arus bolak balik

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.4 Daya Listrik^[7]

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 phasa yaitu :

$$S = V \cdot I^{[8]} \quad (2.7)$$

Untuk 3 phasa yaitu :

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_L I_L^{[10]} \quad (2.8)$$

S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (Watt)

Q = Daya reaktif (VAr)



V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

V_L = Tegangan Line-Line (Volt)

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

2.4.2 Daya Aktif

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

Untuk 1 phasa :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\theta^{[8]} \quad (2.9)$$

Untuk 3 phasa :

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta_p^{[10]} \quad (2.10)$$

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

V_L = Tegangan Line-Line (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

$\cos \theta_p$ = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

2.4.3 Daya Reaktif

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

Untuk 1 phasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\theta^{[8]} \quad (2.11)$$



Untuk 3 phasa :

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta_p \quad [10] \quad (2.12)$$

Q = Daya reaktif (VAr)

V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

V_L = Tegangan Line-Line (Volt)

I = Arus (Amper)

$\sin \theta_p$ = Faktor Daya (tergantung nilai θ)

2.5 Rugi Daya dalam Jaringan^[1]

Dalam suatu system distribusi tenaga listrik, selalu diusahakan agar rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampau berkurang.

Tahanan yang terdapat pada saluran atau penghantar adalah salah satu penyebab kerugian pada jaringan. Disamping itu ada juga kehilangan daya yang dikarenakan adanya kebocoran isolator.

Dari penjelasan diatas, maka besar kerugian daya pada saluran 3 phasa :

$$P_Z = 3 \times I^2 \times R \times L \quad [1] \quad (2.13)$$

Jika besar rugi daya sudah didapat, maka besar daya yang diterima adalah sebesar:

$$P_R = P_S - P_Z \quad [1] \quad (2.14)$$

P_Z = Rugi Daya pada Saluran (W)

P_R = Daya yang Diterima (W)

P_S = Daya yang Disalurkan (W)

I = Arus pada Saluran (Ampere)

R = tahanan penghantar per phasa (Ohm/km)

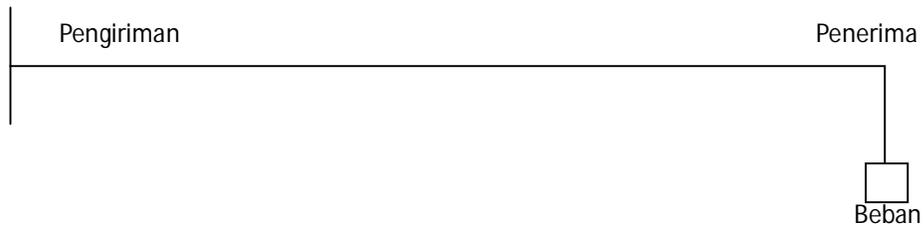
L = Panjang Saluran (km)



2.6 Perhitungan daya susut pada JTM^[6]

2.6.1 Beban Diujung Seimbang

Konfigurasi beban diujung seimbang dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram beban diujung seimbang^[6]

Persamaan matematis daya susut yang dapat digunakan pada kondisi beban diujung seimbang, yaitu:

$$P_z \text{ [kW]} = 3 \times I^2 \times R \times L \times \text{LLF}^{[6]} \quad (2.15)$$

P_z = Daya susut (kW)

I = Arus Beban Penyulang (Ampere)

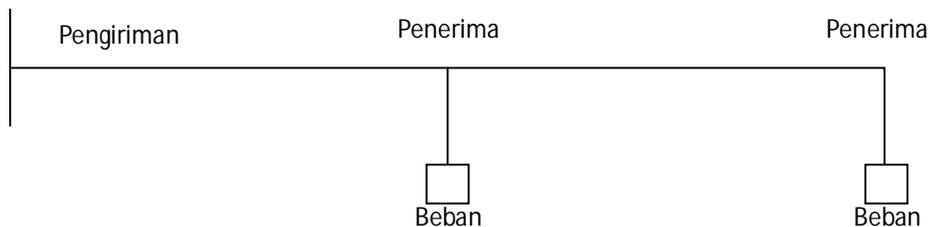
R = Resistansi Penyulang (Ohm/km)

L = Panjang Penyulang (km)

LLF = Faktor Beban Daya Susut (Loss Load Factor)

2.6.2 Pada Beban Ditengah dan Diujung Seimbang^[6]

Konfigurasi beban ditengah dan diujung seimbang, dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram Beban di Tengah dan di Ujung Seimbang^[6]

Persamaan matematis Daya Susut yang dapat digunakan pada kondisi beban ditengah dan diujung seimbang, yaitu:



$$P_z \text{ [kW]} = 3 \times I^2 \times R \times L \times \text{LLF} \times \text{LDF}^{[6]} \quad (2.16)$$

P_z = Daya susut (kW)

I = Arus Beban Penyulang (Ampere)

R = Resistansi Penyulang (Ohm/km)

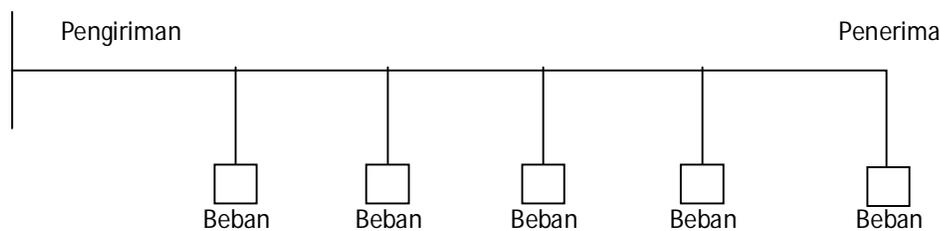
L = Panjang Penyulang (km)

LLF = Faktor Beban Daya Susut (Loss Load Factor)

LDF = Faktor Kerapatan Beban (Load Density Factor), diambil nilai = 0.625

2.6.3 Pada Beban Merata Seimbang^[6]

Konfigurasi beban merata seimbang dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Diagram Beban Merata Seimbang^[6]

Persamaan matematis daya susut yang dapat digunakan pada kondisi beban merata seimbang, yaitu :

$$P_z \text{ [kW]} = 3 \times I^2 \times R \times L \times \text{LLF} \times \text{LDF}^{[6]} \quad (2.17)$$

P_z = Daya susut (kW)

I = Arus Beban Penyulang (Ampere)

R = Resistansi Penyulang (Ohm/km)

L = Panjang Penyulang (km)

LLF = Faktor Beban Daya Susut (Loss Load Factor)

LDF = Faktor Kerapatan Beban (Load Density Factor), diambil nilai = 0.333

2.7 Faktor Beban Daya Susut^[6]



Faktor Beban Daya Susut (Loss Load factor) adalah Faktor yang digunakan dalam perhitungan Daya Susut, merupakan perbandingan Daya Susut rata-rata dan Daya Susut pada Beban Puncak.

$$LLF = 0.3 LF + 0.7 (LF)^{2[6]} \quad (2.18)$$

LLF = Faktor Beban Daya Susut (Loss Load Faktor)

LF = Faktor Beban Sistem (Load Faktor) Area Pelayanan

2.8 Efisiensi Penyaluran^[1]

Efisiensi penyaluran adalah perbandingan Antara daya nyata yang diterima dengan daya nyata yang disalurkan. Atau dengan kata lain perhitungan efisiensi ini digunakan untuk mengetahui seberapa persenkah energy listrik tersebut diterima, setelah didalam penyaluran terdapat rugi-rugi.

Adapun untuk mendapatkan nilai efisiensi itu adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Pr}{Ps} \times 100\%^{[1]} \quad (2.19)$$

Dimana :

P_R = Daya yang Diterima (W)

P_s = Daya yang Disalurkan (W)

2.9 ETAP^[5]

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasiitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, (Awaluddin, 2007). ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem



tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

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

1. Virtual Reality Operasi

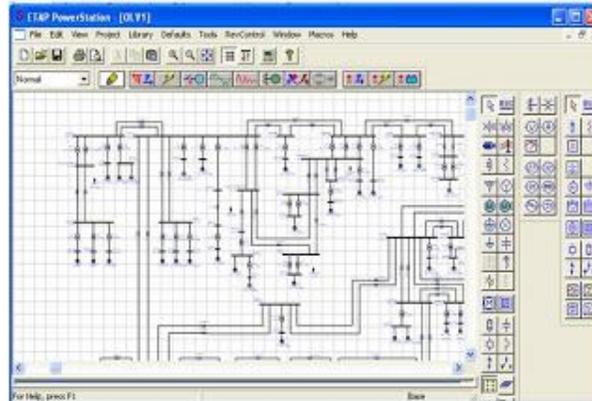
Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika Anda membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen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

2. Total Integration Data

Etap Power Station menggabungkan informasi sistem elektrikal, 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-.

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.



Gambar 2.9 Rangkaian Etap

ETAP PowerStation 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 elektris 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.

2.9.1 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 2.10 Elemen software Etap

2.9.2 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 2.11 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 2.12 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 sirikron pada *power station software* ETAP ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2.13 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 2.14 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 2.15 Simbol bus di ETAP

2.9.3 Elemen-elemen di ETAP

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

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



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 2.16 *Toolbar Load Flow di ETAP*

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

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

2. Elemen Hubung Singkat

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

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 2.17 Toolbar Short Circuit di ETAP

Adapun toolbar short circuit analysis ada dua macam standar yang dipilih.

4. Standar Toolbar ETAP

a. Toolbar ANSI Standard



Gambar 2.18 Toolbar Short Circuit ANSI Standard di ETAP

- 1) 3–Phase Fault Device Duty : untuk menganalisa gangguan 3 fasa.
- 2) 3-Phase Faults - 30 Cycle Network : untuk menganalisa gangguan 3 fasa pada system dengan waktu 30 cycle.
- 3) LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - ½ Cycle: untuk menganalisa gangguan satu fasa ke tanah , antar fasa, dua fasa ke tanah dan 3 fasa selama ½ cycle
- 4) LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - 1.5 to 4 Cycle: untuk menganalisa gangguan satu fasa ke tanah , antar fasa, dua fasa ke tanah dan 3 fasa antara 1,5 sampai 4 cycle.
- 5) LG, LL, LLG, & 3-Phase Faults - 30 Cycle: untuk menganalisa gangguan satu fasa ke tanah , antar fasa, dua fasa ke tanah dan 3 fasa selama 30 cycle
- 6) Save Fault kA for PowerPlot: untuk studi lebih lanjut dengan program powerplot yang berhubungan dengan koordinasi.
- 7) Short circuit Display Options: untuk mengatur hasil short circuit yang ditampilkan sesuai dengan peralatan yang operasi.
- 8) Short circuit Report Manager: untuk menampilkan hasil short circuit
- 9) Halt Current Calculation: untuk menghentikan proses running short circuit



- 10) Get Online Data: untuk menyalin data online jika computer interkoneksi dengan menggunakan PSMS (online feature)
- 11) Get Archived Data: untuk menyalin data online jika computer terinterkoneksi.

b. Toolbar IEC Standard



Gambar 2.19 *Toolbar Short Circuit IEC Standard di ETAP*

- 1) 3-Phase Faults - Device Duty (IEC909): untuk menganalisa gangguan 3 phasa sesuai standar IEC 909.
- 2) 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) 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.
- 4) Save Fault kA for PowerPlot: untuk studi lebih lanjut dengan program powerplot yang berhubungan dengan koordinasi.
- 5) Short circuit Display Options: untuk mengatur hasil short circuit yang ditampilkan sesuai dengan peralatan yang operasi.
- 6) Short circuit Report Manager: untuk menampilkan hasil short circuit
- 7) Halt Current Calculation: untuk menghentikan proses running short circuit
- 8) Get Online Data: untuk menyalin data online jika computer interkoneksi dengan menggunakan PSMS (online feature)