



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan dari 12 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 ($P.R$). 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.

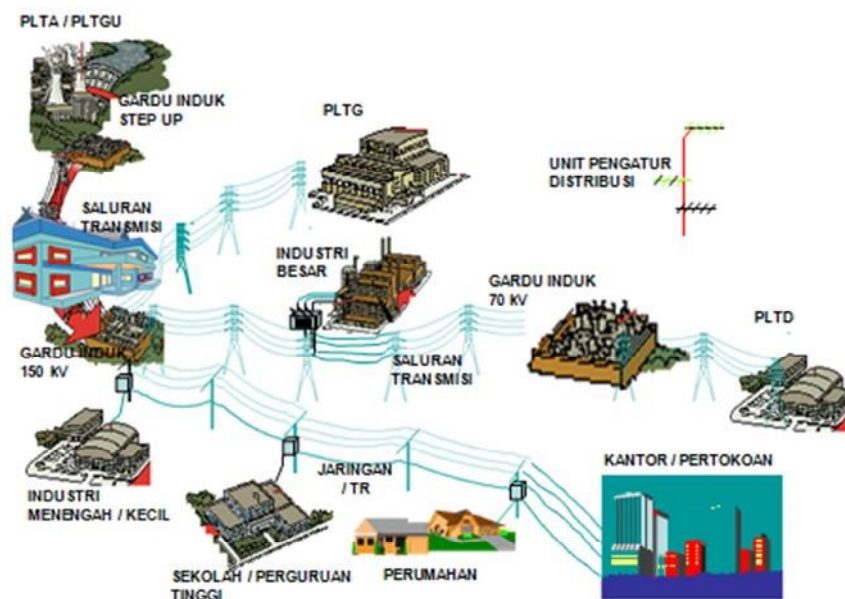
Pada sistem penyaluran daya jarak jauh digunakan tegangan setinggi mungkin dengan menggunakan trafo *step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain : berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain itu menjadi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



Politeknik Negeri Sriwijaya

bila ditinjau nilai tegangan nya, maka mulai dari titik sumber hingga dititik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda.

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



Gambar 2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

2.1.1 Arus

Arus listrik atau dalam vesi bahasa inggris sering disebut *electric current* dapat didefinisikan sebagai jumlah muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Biasanya arus memiliki satuan A (Ampere) atau dalam rumus terkadang ditulis I. Arus listrik merupakan gerakan kelompok partikel bermuatan listrik dalam arah tertentu. Arah arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor adalah dari potensial tinggi ke potensial rendah (berlawanan arah dengan gerak elektron). Satu ampere sama dengan satu coloumb dari elctron melewati satu titik pada satu detik. Pada kasus ini, besarnya energi listrik yang bergerak melewati konduktor (penghantar).



Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Pada zaman dulu, Arus konvensional didefinisikan sebagai aliran muatan positif, sekalipun kita sekarang tahu bahwa arus listrik itu dihasilkan dari aliran yang bermuatan negatif ke arah yang sebaliknya.

2.1.2 Tegangan

Tegangan listrik (*voltage*) adalah perbedaan potensi listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Tegangan dinyatakan dalam suatu volt (V). Besaran ini mengukur energy potensial sebuah medan listrik untuk menyebabkan aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensi listrik satu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi.

Tenaga yang mendorong electron agar bisa mengalir dalam sebuah rangkaian dinamakan tegangan. Tegangan adalah sebenarnya nilai dari potensial energi antara dua titik. Pada sebuah rangkaian, besar energi potensial yang ada untuk menggerakkan electron pada titik satu dengan titik yang lainnya merupakan jumlah tegangan.

2.1.3 Daya

Hambatan listrik adalah perbandingan antara tegangan listrik dari suatu komponen elektronik (misalnya resistor) dengan arus listrik yang melewatinya. Hambatan dinyatakan dalam suatu ohm. Elektron bebas cenderung bergerak melewati konduktor dengan beberapa derajat pergesekan, atau bergerak berlawanan. Gerak berlawanan ini yang biasanya disebut dengan hambatan. Besarnya arus didalam rangkaian adalah jumlah dari energi yang ada untuk mendorong electron, dan juga jumlah dari hambatan dalam sebuah rangkaian untuk menghambat lajunya arus.

Hubungan antara arus, tegangan, hambatan, dan daya dapat dilihat pada table dibawah ini.



Rumus Dasar Listrik

	Satuan	Simbol	Rumus Matematis
Arus (I)	Ampere	I	$I = \frac{Q}{t}$ $1A = \frac{1C}{1S}$
Tegangan (V)	Volt	V	$V = \frac{X}{I} = \frac{J}{C}$
Hambatan	Ohm	Ω	$\Omega = \frac{V}{XI}$
Daya	Watt	P	$W = V \cdot XI$

2.2 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik

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

2.2.1 Menurut Jenis / Tipe Konduktornya

- a. 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.
- b. Saluran bawah tanah, dipasang didalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*)
- c. Saluran bawah laut, dipasang didasar laut dengan menggunakan kabel laut (*Submarine cable*).



2.2.2 Menurut Susunan Rangkaian

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

a. Jaringan Distribusi Primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation (GI) 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 disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah gambar bagian-bagian distribusi primer secara umum.

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

- a. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
- b. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya.
- c. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya
- d. Gardu hubung, berfungsi menyalurkan daya ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.
- e. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah.

a. Jaringan Distribusi Primer Menurut Bahan Konduktornya

Jaringan distribusi SUTM 20kv 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 lapisan isolasi.

Bahan konduktor yang paling populer digunakan adalah tembaga dan alumunium. Tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar alumunium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari alumunium dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar alumunium telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik kawat alumunium digunakan campuran alumunium.

Oleh karenanya ada beberapa macam jenis konduktor, yaitu :

a. AAC (*All-Alumunium Conductor*)

Kawat penghantar yang keseluruhannya terbuat dari alumunium

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

Kawat penghantar yang keseluruhannya terbuat dari campuran alumunium.

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

Kawat penghantar alumunium berinti kawat baja

d. ACAR (*Alumunium Conduktor, Alloy-Reinforce*)

Kawat penghantar alumunium yang diperkuat dengan logam campuran.

b. Jaringan Distribusi Primer Menurut Susunan Rangkian

Susunan rangkaian sistem jaringan distribusi ada beberapa macam yaitu :

1. Sistem Radial

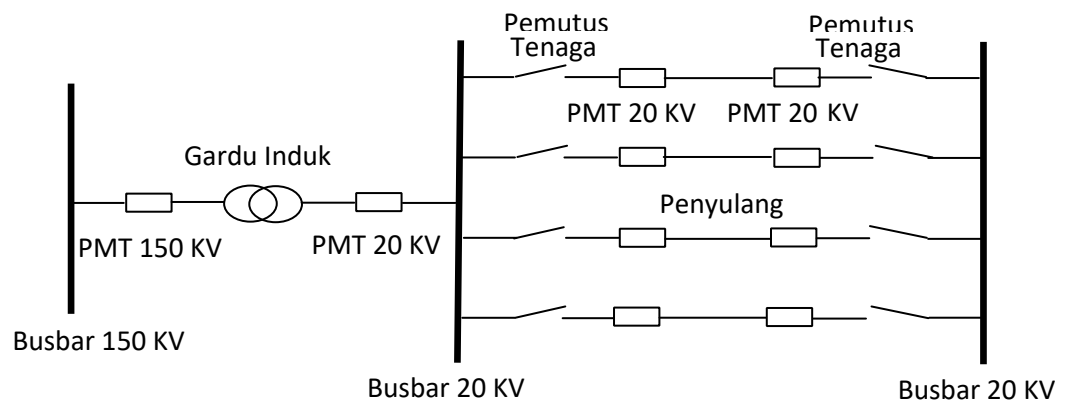
Merupakan suatu sistem distribusi tegangan menengah yang paling sederhana, murah, banyak digunakan terutama untuk sistem yang kecil/kawasan pedesaan. Proteksi yang digunakan tidak rumit dan keandalannya paling rendah.



terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena susut tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.

Keuntungan :

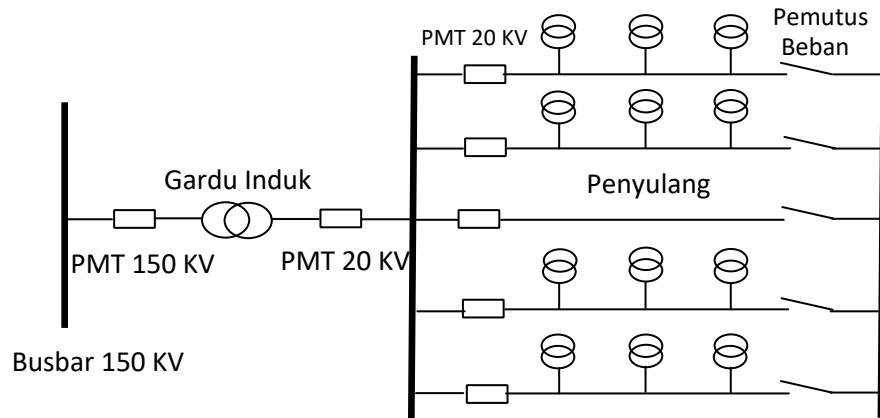
- a. Jumlah konsumen yang besar bisa dijangkau
- b. Gangguan salah satu sisi penghantar sanggup menampung seluruh beban yang terpasang pada sistem, disini erat hubungannya dengan rugi tegangan.
- c. Mudah operasi



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Sistem Ring

4. Sistem Spindel

Sistem *spindel* merupakan sistem yang relatif handal karena disediakan satu buah *express feeder* yang merupakan penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung 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 spindle disediakan gardu tengah yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Spindle

b. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada dikonsumsi. 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.

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



Politeknik Negeri Sriwijaya

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.

a. 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:

$$R_{dc} = q \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

R_{dc} = Tahanan arus searah Ω

q = Tahanan jenis penghantar / resistivitas (Ωm)

l = Induksi Kawat Penghantar

A = Luas penampang penghantar (m^2)

Sehingga didapatkan tahanan arus bolak-balik

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : Y_s = skin effect (efek kulit)

Y_p = proximity effect (efek sekitar)



b. Reaktansi Saluran

Dalam hal arus bolak-balik, medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan berkaitan dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi. Untuk besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak-balik yaitu : $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ (2.3)

dimana, X_L = reaktansi kawat penghantar Ω

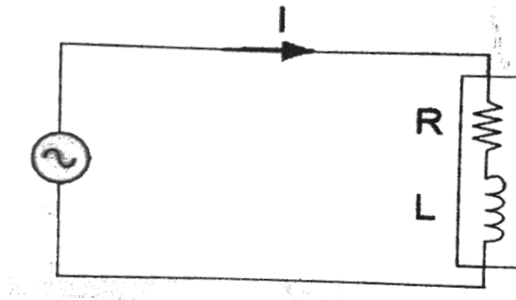
c. Induktansi Saluran

Menurut Saadat (1999) suatu penghantar yang membawa arus menghasilkan suatu medan magnetik di sekeliling penghantar. Fluks magnetik saluran merupakan lingkaran konsentris tertutup dengan arah yang diberikan oleh kaidah tangan kanan. Dengan penunjukan ibu jari sebagai arah arus, jari tangan kanan yang melingkari titik kawat sebagai arah medan magnetik. Apabila arus berubah, fluks berubah dan suatu tegangan diinduksikan dalam rangkaian. Dengan mendefinisikan material magnetik, induktansi L merupakan rasio lingkup fluks (*flux linkage*) magnetik total terhadap arus.

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



2.4 Daya Listrik



Gambar 2.6 Tegangan AC yang diterapkan pada beban

Apabila suatu sumber listrik arus bolak-balik (AC) diterapkan pada komponen impedansi kompleks $Z = R + jX$

Dimana $X = 2\pi fL$ seperti ditampilkan pada gambar diatas menghasilkan fasor tegangan $V = |V| \angle \phi$, dan fasor arus $I = |I| \angle \phi$, dalam nilai efektif (rms) seperti gambar diatas.

Ungkapan daya pada rangkaian diatas adalah perkalian tegangan dan arus

VI yang dihasilkan

$$VI = |V| |I| \angle \phi$$

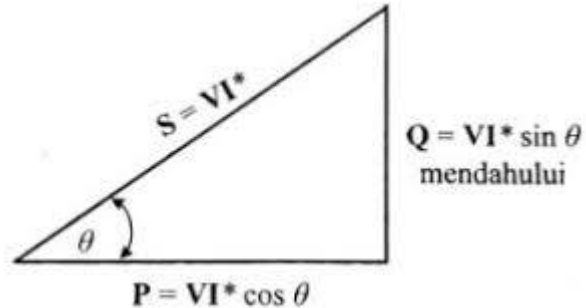
$$VI = |V| |I| \cos \phi + j |V| |I| \sin \phi \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan diatas menentukan kuantitas daya kompleks dimana bagian realnya merupakan daya nyata P dan bagian imaj inernya merupakan daya reaktif Q sedangkan (ϕ merupakan sudut daya).

Menurut Smith (1990) konsep daya kompleks memberikan pendekatan lain untuk pemecahan persoalan AC. Perhitungan yang mengikuti kaidah aljabar kompleks, teknik vektor dan metode grafk dapat diterapkan seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Politeknik Negeri Sriwijaya



Gambar 2.7 Segitiga Daya Kompleks

Selanjutnya daya kompleks ditandai dengan S dan diberikan melalui,

$$S = VI \dots\dots\dots(2.7)$$

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.8)$$

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. Dari uraian diatas maka daya listrik dapat dikelompokkan menj adi tiga macam, daya semu, daya aktif (nyata) dan daya reaktif.

a. 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.

$$\text{Untuk 1 fasa : } S = V \times I \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana, S = Daya Semu (VA).



b. 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.

$$\text{Untuk 1 fasa : } P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Untuk 3 } \phi : P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana, P = daya aktif (watt)

V = tegangan yang ada (KV)

I = besar arus yang mengalir (A)

Cos φ = faktor kerja (standard PLN 0,85)

c. 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.

$$\text{Untuk 1 fasa : } Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana : Q = daya reaktif (VAR)

sin φ = faktor kerja (tergantung besarnya φ)

2.5 Model Saluran Distribusi

Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekuivalen dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu basis per fasa. Tegangan terminal digambarkan dari satu saluran ke netral, arus dari satu fasa saluran sehingga sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi ekuivalen sistem distribusi fasa tunggal.

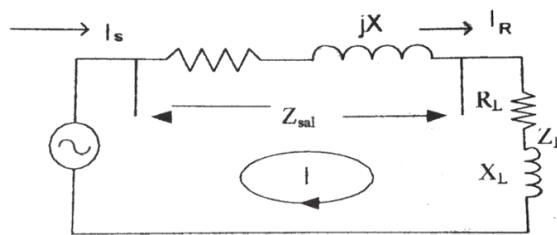


Menurut Stevenson (1995) model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan, arus dan aliran daya yang dipengaruhi oleh panjang saluran. Model saluran distribusi diperoleh dengan mengalikan impedansi saluran persatuan panjang dengan panjang saluran.

$$Z = (r + jmL) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$Z + R + jX \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana r dan L merupakan resistansi dan induktansi perfasa per-satuan panjang, dan l merupakan panjang saluran. Model saluran distribusi pada suatu basis perfasa ditunjukkan pada gambar (2.8). V_s dan I_s merupakan tegangan dan arus pada ujung kirim saluran, V_R dan I_R merupakan tegangan dan arus pada ujung penerima saluran.



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Saluran Distribusi

Keterangan :

V_s = tegangan sumber/ pada ujung pengirim (Volt)

V_R = tegangan pada sisi penerima/beban (Volt)

I_R = arus pada ujung pengirim (A)

I_s = arus pada ujung penerima (A)

$Z_L = (R + jX)$ impedansi beban (Q)



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

2.6 Rugi Tegangan Saluran

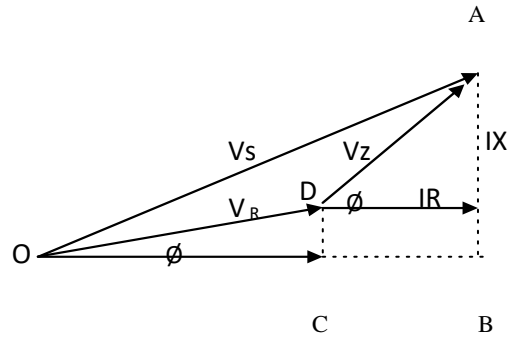
Rugi tegangan (voltage losses) adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Berdasarkan SPLN 72: 1987 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria rugi tegangan yang dapat diijinkan tidak boleh lebih dari 5% dan minimum -10% (AV 2 5%). Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut diukur pada titik yang palingjauh (ujung). Adapun penyebab jatuh tegangan (drop tegangan) adalah :

- a. Jauhnya jaringan, jauhnya transformator dari gardu induk.
- b. Rendahnya tegangan yang diberikan GI atau rendahnya tegangan transformator distribusi.
- c. Sambungan penghantar yang tidak baik , penjumlaheran saluran distribusi tidak tepat sehingga bermasalah di sisi TM dan TR.
- d. Jenis penghantar dan konektor yang digunakan. e. Arus yang dihasilkan terlalu besar.

Berdasarkan rangkaian ekuivalen saluran pada gambar 2.8 dan uraian dari persamaan 2.16 sampai 2.19 dapat digambarkan diagram fasor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal (lagging) seperti ditunjukkan pada Gambar Fasor saluran distribusi



Politeknik Negeri Sriwijaya



Gambar 2.9 Fasor saluran distribusi

$$OA = V_S$$

$$OC = OD \cdot \cos \phi$$

$$= V_R \cdot \sin \phi$$

$$CD = OD \cdot \sin \phi$$

$$= V_R \cdot \sin \phi$$

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

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

$$V_Z = IR + IX$$

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

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

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



Politeknik Negeri Sriwijaya

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

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot l (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \dots \dots \dots (2.18)$$

Karena besar arus 3 phasa menjadi :

$$I_{3\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \dots \dots \dots (2.19)$$

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

$$\Delta V = \frac{P \cdot l}{V \cdot \cos \phi (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi)} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana :

$$S = \frac{P}{\cos \phi} \dots \dots \dots (2.21)$$

Berdasarkan persamaa Δ tegangan dapat juga ditulis sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{S \cdot l}{V} (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \dots \dots \dots (2.22)$$

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 :

$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l}{V} (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \times 100\% \dots \dots \dots (2.23)$$

Karena besar arusnya 3 phasa menjadi :

$$I_{3\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \dots \dots \dots (2.24)$$



Politeknik Negeri Sriwijaya

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

$$\% \Delta V = \frac{P \cdot l}{V^2 \cdot \cos \phi (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi)} \times 100\% \dots \dots \dots (2.25)$$

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

$$\% V \text{ rugi} = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.26)$$

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

Untuk mendapatkan susut tegangan distribusi primer dengan sistem pendekatan seperti pada diagram phasor diatas yaitu dengan mengamsusikan bahwa V_s dan V_R berhimpitan maka didapat persamaan tegangan yang mendasari diagram vektor tersebut adalah :

$$V_z = I(R \cos \phi + X \sin \phi) \dots \dots \dots (2.27)$$

Rugi tegangan saluran merupakan tegangan jatuh (voltage drop) sepanjang saluran dan dapat ditentukan, atau $V_z = I_s \times Z_L \dots \dots \dots (2.28)$



Tegangan sisi penerima atau tegangan sampai ke beban merupakan tegangan sisi pengirim dikurangi tegangan jatuh saluran,

$$V_R = V_S - V_Z \dots\dots\dots(2.29)$$

Besar persentase susut tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% V_{\text{rugi}} = \frac{V_Z}{V_S} \times 100\% \dots\dots\dots(2.30)$$

2.7 Rugi Daya Saluran

Berdasarkan gambar 2.5, rugi daya saluran timbul oleh karena adanya komponen resistansi dan reaktansi saluran dalam bentuk rugi daya aktif dan reaktif. Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran distn'busi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Sedangkan rugi daya reaktif akan dikembalikan ke sistem dalam bentuk medan magnetik dan atau medan listrik. Arus yang mengalir pada seluran akan menghasilkan rugi daya terlihat saluran,

$$S_Z (3\emptyset) = 3 \cdot V_Z I_S \dots\dots\dots(2.31)$$

Rugi daya terlihat yang dihasilkan pada saluran terdiri dari rugi daya aktif dan rugi daya reaktif yang ditulis dalam bentuk bilangan kompleks dimana rugi daya aktif sebagai bilangan real dan rugi daya reaktif sebagai bilangan imajiner,

$$S_Z (3\emptyset) = P_Z (3\emptyset) + jS_Z (3\emptyset) \dots\dots\dots(2.32)$$

Berdasarkan diagram fasor, rugi daya aktif perfasa dapat ditentukan dari variable arus, tegangan dan sudut perbedaan fasa jatuh tegangan arus saluran.

$$P_Z = V_Z \cdot I_S \cdot \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.33)$$

$$P_R = P_S - P_Z \dots\dots\dots(2.34)$$

Sudut perbedaan fasa antara jatuh tegangan dan arus saluran, $\cos \emptyset$ disebut juga sebagai sudut daya saluran atau faktor daya.



2.8 Efisiensi Penyaluran

Efisiensi penyaluran adalah perbandingan antara daya nyata yang diterima dengan daya nyata yang disalurkan atau dengan kata lain perhitungan efisiensi ini berguna untuk mengetahui seberapa persenkah energi listrik tersebut diterima setelah didalam penyalurannya terdapat rugi-rugi. Adapun untuk mendapatkan nilai efisiensi itu adalah sebagai berikut :

Setelah tegangan jatuh saluran dihitung dari persamaan (2.28), rugi daya terlihat total saluran dapat diperoleh melalui persamaan (2.32).

Daya terlihat pada sisi penerima dapat ditentukan,

$$S_R(3\phi) = S_s(3\phi) - S_z(3\phi) \dots \dots \dots (2.35)$$

dimana daya terlihat merupakan resultan vektor dari daya nyata dan daya reaktif, sehingga dapat dituliskan,

$$S_R(3\phi) = P_R(3\phi) + jQ_R(3\phi) \dots \dots \dots (2.36)$$

$$S_s(3\phi) = P_s(3\phi) + jQ_s(3\phi) \dots \dots \dots (2.37)$$

Dan efisiensi saluran dapat diperoleh,

$$\eta = \frac{P_R 3\phi}{P_s 3\phi} \times 100 \%$$

dimana, P_R = daya yang diterima (kW)

P_s = daya yang disalurkan (kW)