



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penyaluran Transmisi



Gambar 2.1 Sistem penyaluran transmisi ¹

Sistem penyaluran transmisi adalah penyaluran energi listrik dari suatu tempat ke tempat lainnya atau dari pembangkit listrik ke gardu induk. Sebelum energi listrik ditransmisikan, hal pertama yang harus dilakukan adalah menaikkan tegangan yang disuplai dari generator menjadi 70 kV, 150 kV atau 500 kV, sebab tegangan yang dikeluarkan dari generator hanya berkisar antara 6,6 kV sampai 24 kV. Menaikkan tegangan berfungsi untuk mengurangi rugi daya pada saluran transmisi dan untuk mengimbangi jauhnya jarak saluran transmisi. Kemudian listrik ditransmisikan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau melalui Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi (SUTET).

¹ <http://energitoday.com/uploads//2015/03/1listrik4.jpg> diakses pada 15 juli 2016



2.2 Klasifikasi Saluran Transmisi ²

Saluran transmisi sebageian besar adalah saluran AC. Di dalam sistem AC ada sistem satu fasa dan sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem satu fasa karena :

- a. Daya yang disalurkan lebih besar
- b. Nilai sesaatnya (*instantaneous value*) konstan
- c. Mempunyai medan magnet putar.

Berhubungan dengan keuntungan-keuntungan, hampir seluruh penyaluran tenaga listrik di dunia dewasa ini dilakukan dengan arus bolak-balik. Namun, sejak beberapa tahun terkakhir penyaluran arus searah mulai di kembangkan di beberapa bagian dunia ini. Penyaluran DC mempunyai keuntungan karena misalnya, isolasinya yang lebih sederhana, daya guna (*efficiency*) yang lebih tinggi (karena faktor dayanya 1) serta tidak ada masalah stabilitas, sehingga dimungkinkan penyaluran jarak jauh. Tetapi persoalan ekonomisnya masih harus diperhitungkan. Penyaluran tenaga listrik sistem DC baru dapat dianggap ekonomis (dapat bersaing dengan sistem AC) bila jarak saluran udara lebih jauh, antara 400 sampai 600 km, atau untuk saluran bawah tanah lebih panjang dari 50 km karena biaya peralatan pengubah dari AC ke DC dan sebaliknya (*converter dan inverter equipment*) mahal.

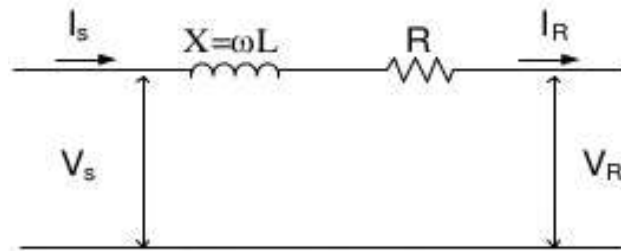
2.2.1 Klasifikasi untuk keperluan diagram pengganti

Untuk keperluan analisa dan perhitungan digunakan diagram pengganti. Diagram pengganti biasanya dibagi dalam tiga kelas, yaitu :

- a. Saluran transmisi pendek

Saluran transmisi pendek didefinisikan sebagai saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 80 km. Pada saluran model ini besar kapasitansi ke tanah sangat kecil, dengan demikian besar arus bocor ke tanah kecil terhadap arus beban, maka dalam hal ini kapasitansi ke tanah dapat diabaikan.

² Hutaaruk, T.S. Prof. Ir. M,Sc., *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1996, hlm. 1-2.



Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen saluran transmisi pendek

Rangkaian ekivalen saluran transmisi pendek ditunjukkan pada Gambar 2.1 dengan kapasitansi saluran diabaikan. Maka arusnya akan sama besar pada ujung pengirim dan ujung penerima pada saluran tersebut.

$$I_S = I_R \dots\dots\dots(2.1)$$

Dan tegangan pada ujung pengirimnya adalah :

$$V_S = V_R + I_R (R + j X) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

V_S = tegangan saluran terhadap netral pada ujung pengirim (V)

V_R = tegangan saluran terhadap netral pada ujung penerima (V)

I_S = arus pada ujung pengirim (A)

I_R = arus pada ujung penerima (A)

X = Induktansi (H)

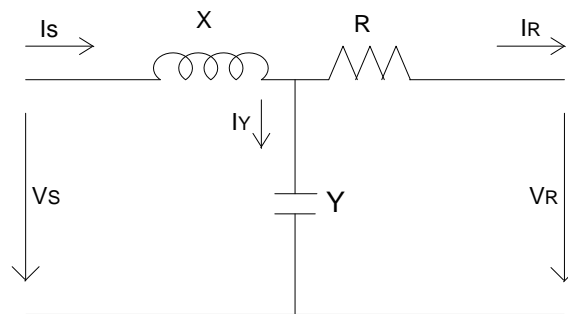
R = Resistansi (Ω)

b. Saluran transmisi menengah

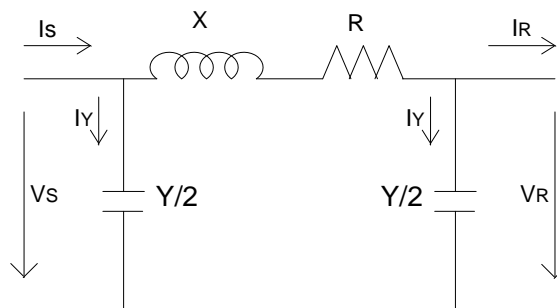
Saluran transmisi menengah didefinisikan sebagai saluran transmisi yang mempunyai panjang dari 80 km sampai 250 km. Pada saluran model ini besar kapasitansi ke tanah cukup besar sehingga tidak dapat diabaikan. Sehingga seluruh admitansi shunt saluran terpusat pada cabang shunt, di mana pada saluran transmisi menengah dibedakan menjadi dua model, yaitu:



- Saluran transmisi menengah nominal T yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada satu titik dan impedansi serinya terbagi dua pada kedua cabang serinya.
- Saluran transmisi menengah nominal PI yaitu saluran transmisi dengan kapasitansi dipusatkan pada dua titik dan impedansi serinya dipusatkan satu titik pada cabang serinya.



Gambar 2.3 Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah nominal T



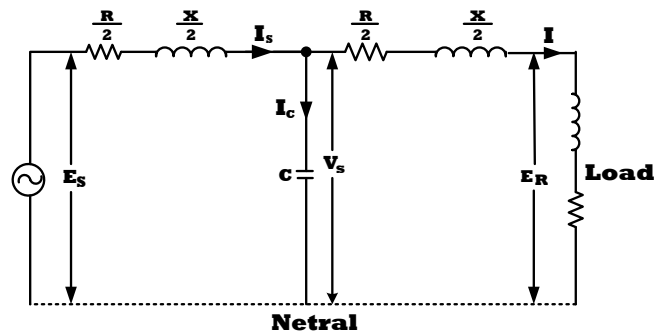
Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen saluran transmisi menengah nominal PI

c. Saluran transmisi panjang

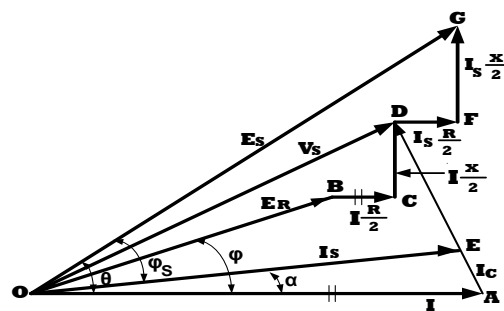
Saluran transmisi panjang didefinisikan sebagai saluran transmisi yang panjangnya lebih besar dari 250 km digolong pada transmisi panjang, besarnya reaktansi kapasitif paralel dan konduktansi semakin kecil sehingga arus bocor semakin besar. Jadi pada saluran panjang ini semua parameter R, L, C, dan G diperhitungkan secara terdistribusi sepanjang saluran. Sama halnya dengan



saluran transmisi menengah pada metode penyelesaian saluran transmisi panjang juga menggunakan metode nominal T dan nominal PI.



Gambar 2.5 Representasi dari Metode Nominal T



Gambar 2.6 Diagram Vektor Untuk Metode Nominal T

OA menggambarkan arus beban I lagging dari tegangan ujung penerimaan OB oleh sudut ϕ . Arus beban yang sama akan mengalir dalam separuh kanan dari impedansi line dan akan menyebabkan drop tegangan $BC = IR/2$ yang sephasa dengan arus I , dan drop induktip $CD = IX/2$

- Arus I_c disebabkan condenser leading terhadap tegangan V_s adalah 90° yang dinyatakan sebagai AE. Arus ujung pengiriman I_s dinyatakan sebagai OE.
- Arus ujung pengiriman akan menyebabkan drop resistip $DF = I_s R/2$ dan drop induktip $FG = I_s X/2$



Faktor daya ujung pengiriman = $\cos \varphi_s$

Dimana φ_s = sudut GOE

Tegangan ujung pengiriman dapat juga diperoleh dengan metode Analitis Solusi seperti berikut :

$$I = I + j 0, \text{ arus beban} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$E_R = E_R (\cos \varphi + j \sin \varphi) = E_x + j E_y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Impedansi line} = R + j X \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Drop Line sampai dengan pertengahan} = \frac{1}{2} I (R + j X) \dots\dots\dots(2.6)$$

$V_s = E_R + \text{drop line dalam separuh dari line}$

$$V_s = (E_x + j E_y) + 1/2 I (R + j X) = V_x + j V_y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$I_c = \frac{V_x + j V_y}{(0 - j \omega C)} = \frac{(V_x + j V_y) + (0 + j \omega C)}{\omega^2 C^2} = I_x' + j I_y' \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Arus ujung pengiriman} = (I + j 0) + (I_x' + j I_y') = (I + I_x') + j I_y' \dots\dots\dots(2.9)$$

Arus ujung pengiriman adalah leading dari I oleh sudut α ,

$$\text{dimana : } \tan \alpha = \frac{I_y'}{I + I_x'} \dots\dots\dots(2.10)$$

Drop line dalam separuh kiri dari line,

$$= \{(I + I_x') + j I_y'\} \left(\frac{R}{2} + j \frac{X}{2}\right) = V_x + j V_y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.11)$$

$E_s = V_s + \text{drop line dalam separuh kiri dari line}$

$$E_s = (V_x + j V_y) + (v_x + j v_y) = (V_x + v_x) + j (V_y + v_y) \dots\dots\dots(2.12)$$

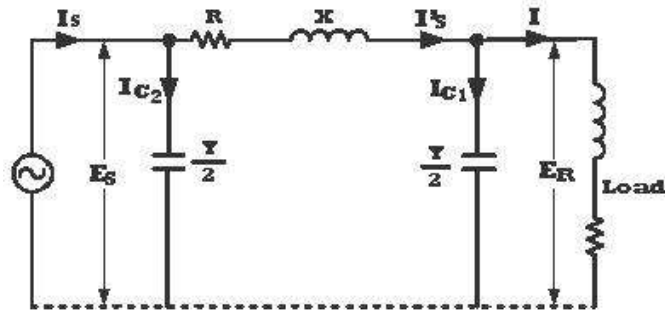
$$E_s \text{ akan leading dari I oleh sudut } \theta, \text{ dimana : } \tan \alpha = \frac{V_y + v_y}{V_x + v_x} \dots\dots\dots(2.13)$$

Sudut phasa antara arus ujung pengiriman dan tegangan ujung pengiriman,

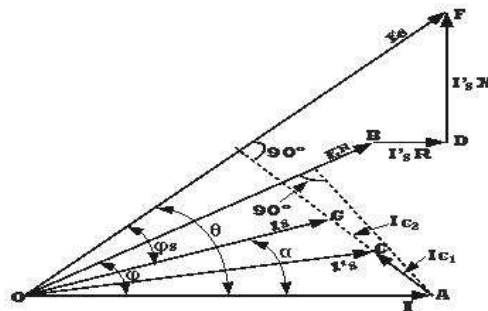
$$\varphi_s = \theta - \alpha \dots\dots\dots(2.14)$$



Pada saluran transmisi panjang dengan metode nominal PI separuh dari line di asumsikan terkonsentrasi pada ujung pengiriman (*sending*) dan ujung penerimaan (*receiving*). Dalam metode ini separuh dari kapasitansi line diasumsikan lokasinya pada kedua ujung dari line seperti representasi gambar berikut :



Gambar 2.7 Representasi dari Metode Nominal PI



Gambar 2.8 Diagram Vektor Untuk Metode Nominal PI

Dimana :

E_S = Tegangan ujung pengiriman (V)

E_R = Tegangan ujung penerimaan (V)

R = Resistansi (Ω)

X = Induktansi (H)

Y = Admitansi shunt (siemens)

I = Arus beban (A)

I_S = Arus ujung pengiriman (A)

$I_{S'}$ = Arus pada line (A)



I_{C1} = Arus pada kapasitansi line pertama (A)

I_{C2} = Arus pada kapasitansi line kedua (A)

OA = Arus beban

Tegangan ujung penerimaan E_R lead dari I oleh sudut ϕ

$Y = j \omega c$ (*admitansi shunt*) dimana C adalah kapasitansi line per phasa

Admitansi shunt pada masing-masing ujung dari line adalah $Y/2$

- Arus I_{C1} pada ujung penerimaan dinyatakan dengan AC leading dari E_R oleh sudut 90°
- Arus dalam line adalah I_s' merupakan jumlah vektor I dan I_{C1}
- Drop resistif dalam line adalah $I_s'R$ dinyatakan sebagai BD paralel dengan OC
- Drop reaktansi dalam line adalah $I_s'X$ leading BD oleh sudut 90° dinyatakan dengan DF
- Tegangan ujung pengiriman E_s adalah jumlah vektor E_R dan drop line BF dinyatakan sebagai OF

Admitansi cabang (*admitansi shunt*) pada ujung pengiriman dengan arus I_{C2} *leading* dari E_s oleh sudut 90° dinyatakan sebagai CG. Demikian arus ujung pengiriman I_s adalah OG.

Faktor daya ujung pengiriman = $\cos \phi_s$

Dimana ϕ_s = sudut FOG

Tegangan ujung pengiriman dapat juga diperoleh dengan metode Analitis Solusi seperti berikut :

$$I = I + j 0, \text{ arus beban} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$E_R = E_R (\cos \phi + j \sin \phi) = E_x + j E_y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$I_{C1} = (E_x + j E_y) (0 + j Y/2) \dots\dots\dots(2.17)$$

Arus dalam line penerimaan, $I_s' = I + I_{C1}$

$$I_s' = (I + j 0) + \left\{ (E_x + j E_y) (0 + j \frac{Y}{2}) \right\} = I_x + j I_y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\text{Drop line} = (I_x + j I_y) (R + jX) = V_x + j V_y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$E_s = E_R + \text{drop line}$$



$$E_S = (E_x + j E_y) + (V_x + j V_y) = (E_x + V_x) + j (E_y + V_y) \dots\dots\dots(2.20)$$

$$E_S \text{ lead dari I load sudut } \theta, \text{ dimana } \tan \theta = \frac{E_y + V_y}{E_x + V_x} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$I_{c2} = \{ (E_x + V_x) + j (E_y + V_y) \} \left(0 + j \frac{Y}{2} \right) = I'x + j I'y \text{ (misal)} \dots\dots\dots(2.22)$$

Arus dalam line pengiriman, $I_s = I_s' + I_{c2}$

$$I_s = (I_x + j I_y) + (I_x' + j I_y') = (I_x + I_x') + j (I_y + I_y') \dots\dots\dots(2.23)$$

$$I_s \text{ led dari I oleh sudut } \alpha, \tan \alpha = \frac{I_y + I_y'}{I_x + I_x'} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Sudut fasa antara arus dan tegangan ujung pengiriman } \phi_s = \theta - \alpha \dots\dots\dots(2.25)^3$$

Sistem arus listrik akan mengalir dari beda potensial yang tinggi ke beda potensial rendah. Dan dikarenakan adanya drop tegangan sepanjang jalur transmisi kabel sebagai akibat adanya impedansi penghantar maka tegangan pada sisi penerima biasanya lebih rendah dibanding tegangan disisi pengiriman. Hal yang bertolak belakang terjadi pada sistem transmisi menengah dan panjang, dimana tegangan sisi penerima akan lebih tinggi dibanding dengan tegangan disisi pengirim. Perubahan tegangan tersebut dinamakan efek ferranti sesuai dengan nama orang yang pertama kali mengemukakan efek dan teori tersebut, yaitu **Sir. S.Z. Ferranti (1890)**. **Sir. S.Z. Ferranti** menyatakan bahwa pada jaringan sistem transmisi menengah dan panjang, apabila transmisi tersebut tidak dalam keadaan berbeban ataupun berbeban rendah maka tegangan disisi penerima akan lebih tinggi dibanding tegangan disisi pengirim. ⁴

³ Uppal S.L, 1980, *Electrical Power*, khanna publishers, Delhi.

⁴ <http://direktorialistik.blogspot.co.id/2013/11/ferranti-effect-pada-sistim-kelistrikan.html>
diakses pada 15 Juli 2016



2.2.2 Klasifikasi menurut level tegangan⁵

Di Indonesia standar tegangan transmisi adalah : 66, 150, 380, dan 500 KV, dan klasifikasi menurut tegangan ini masih belum nyata. Klasifikasi jaringan berdasarkan kelompok level tegangan :

1. Jaringan tegangan ultra tinggi (UHV), diatas 765 kV.
2. Jaringan tegangan extra tinggi (EHV), yaitu jaringan tenaga listrik dengan tegangan diatas 245 kV s/d 765 kV.
3. Jaringan tegangan tinggi (HV), yaitu jaringan tenaga listrik dengan tegangan diatas 35 kV s/d 245 kV.
4. Jaringan tegangan menengah (MV), yaitu jaringan tenaga listrik dengan tegangan diatas 1 kV s/d 35 kV.
5. Jaringan tegangan rendah (LV), yaitu jaringan tenaga listrik dengan tegangan diatas 50 volt s/d 1 kV.
6. Jaringan extra rendah (ELV), yaitu jaringan tenaga listrik dengan tegangan dibawah 50 Volt.

2.2.3 Klasifikasi jaringan berdasarkan fungsinya

Berdasarkan fungsinya, jaringan transmisi dibagi 5 jaringan yaitu :

1. Jaringan Interkoneksi, yaitu jaringan yang menghubungkan dua jaringan dengan level tegangan yang sama.
2. Jaringan Transportasi, yaitu jaringan tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik secara besar-besaran dari pusat energi ke pusat-pusat beban. Dalam prakteknya jaringan ini disebut jaringan transmisi atau jaringan sub-transmisi.
3. Jaringan Distribusi, yaitu jaringan tenaga listrik yang berfungsi mendistribusikan energi dari pusat beban ke konsumen. Perlu di ingat bahwa jaringan terdiri dari primer dan sekunder.

⁵ Cekdin, C. Barlian, T., *Transmisi Daya Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta, 2013, hlm. 4.



4. Jaringan Utilitas, yaitu jaringan yang langsung menghubungkan antara sumber energi dengan peralatan yang membutuhkan energi listrik.
5. Jaringan Kontrol, yaitu jaringan yang terdapat dalam peralatan beban dan berfungsi untuk pengoperasian alat.

2.3 Tegangan Transmisi ⁶

Pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan (*reliability*), biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada dan yang direncanakan. Di Indonesia pemerintah telah menyeragamkan deretan tegangan tinggi sebagai berikut :

- a. Tegangan Nominal (kV) : (30)-66-150-220-380-500
- b. Tegangan Tertinggi (kV) : (36)-72,5-170-245-420-525

Tegangan nominal 30 kV hanya diperkenalkan untuk daerah asuhan di mana tegangan distribusi 20 kV tidak dipergunakan. Penentuan deretan tegangan diatas disesuaikan dengan rekomendasi *Internasional Electrotechnical Commission* (IEC).

2.4 Komponen Utama Pada Saluran Transmisi

Komponen utama pada saluran transmisi yaitu terdiri menara atau tiang transmisi, isolator, kawat penghantar, dan kawat tanah.

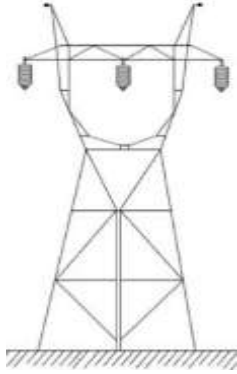
2.4.1 Menara atau tiang transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi , yang bisa berupa menara baja, menara beton bertulang dan menara kayu. Tiang baja, beton kayu umumnya digunakan pada saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (dibawah 70 kV), sedangkan untuk saluran tegangan tinggi atau ekstra tinggi menggunakan menara baja.

⁶ Cekdin, C. Barlian, T., *Transmisi Daya Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta, 2013, hlm. 4.

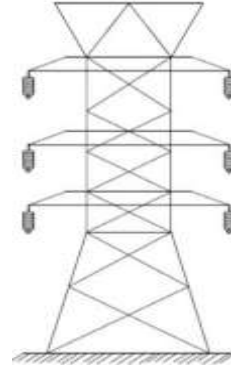


Menara baja dibagi sesuai fungsinya, yaitu menara dukung, menara sudut, menara ujung, menara percabangan, dan menara transposisi.



Gambar 2.9

Saluran transmisi tunggal



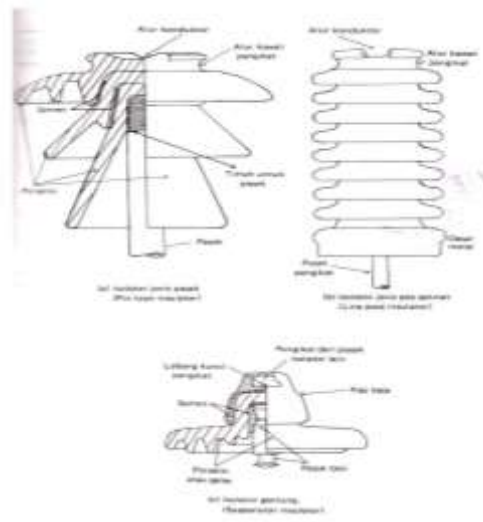
Gambar 2.10

Saluran transmisi ganda

2.4.2 Isolator⁷

Isolator berfungsi untuk menggantungkan kawat-kawat penghantar listrik dan sebagai media isolasi listrik yang baik antara kawat yang bertegangan tinggi dengan menara penyangga. Jenis isolator yang digunakan dalam saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal ada tiga jenis isolator, yaitu jenis pasak, isolator jenis pos saluran dan isolator gantung. Isolator jenis pasak dan isolator pas saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja yang relatif rendah (kurang dari 22-23 kV), sedangkan isolator gantung dapat digandeng menjadi rentang isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan. Jenis-jenis isolator ini dapat dilihat pada gambar 2.5.

⁷ Hutauruk, T.S. Prof. Ir. M,Sc., *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1996, hlm. 3.



Gambar 2.11 Macam-macam Isolator Perselin

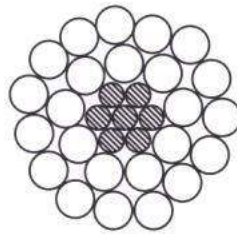
2.4.3 Kawat penghantar

Kawat penghantar berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari suatu tempat ke tempat yang lain. Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena produktivitas dan kuat produknya lebih tinggi, tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari pada aluminium dan juga harganya lebih mahal. Oleh karena itu kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran-saluran transmisi, dimana jarak antara dua menara jauh (ratusan meter) yang membutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi maka digunakan kawat penghantar jenis ACSR (*Aluminium conductor steel reinforced*) yaitu kawat aluminium berinti kawat baja. Penghantar untuk saluran transmisi lewat udara (atas tanah) adalah kawat-kawat tanpa isolasi (*bare*) yang padat (*solid*), berlilit (*stranded*) atau berongga (*hollow*) dan terbuat dari logam biasa, logam campuran (*alloy*) atau logam paduan (*composite*).



Namun biasanya, jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (AL 61%).

Gambar 2.6 memperlihatkan penampang dari suatu kawat penghantar ACSR yang banyak digunakan. Penghantar tersebut terdiri dari 7 serat baja/steel (St) yang membentuk inti tengah, sedangkan di sekelilingnya terdapat dua lapisan serat aluminium (Al) dengan 24 serat. Kawat penghantar semacam ini di spesifikasikan sebagai 24Al/7St atau 24/7 saja.



Gambar 2.12 Penampang kawat penghantar ACSR

2.4.4 Kawat tanah

Kawat tanah atau ground wires juga disebut dengan kawat pelindung (*shield wires*) gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat fasa terhadap sumbaran petir. Jadi kawat tanah ini dipasang diatas kawat fasa. Sebagai kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR.

2.5 Konstanta Saluran Transmisi ⁸

Suatu sistem pembangkit, mempunyai konstanta-konstanta yang dapat mempengaruhi karakteristik dalam menyalurkan tenaga listrik. Adapun konstanta-konstanta tersebut adalah resistansi, induktansi, kapasitansi. Kapasitansi pada

⁸ Nasar Syed A, *Electric Power System*, The McGraw Hill Companies, New York, 2006, hlm. 37.



saluran transmisi dengan panjang saluran menengah tegangan menengah (≥ 150 kV) maka kapasitansi tidak dapat diabaikan.

2.5.1 Resistansi

Tiap konduktor listrik memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistansi. Resistansi dari penghantar saluran transmisi adalah penyebab yang terpenting dari rugi daya (*power loss*) pada saluran transmisi.

2.5.2 Induktansi

Induktansi saluran yang terdiri dari penghantar pada keadaan yang sama semua serat adalah identik yang membagi arus rata yang mengatur didalamnya. Metode ini dapat diperluas, sehingga berlaku untuk jenis penghantar yang berisi serat-serat dengan ukuran yang berbeda-beda.

2.5.3 Kapasitansi

Kapasitansi suatu saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti terjadi pada plat kapasitor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per-unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah antara penghantar. Untuk saluran daya yang panjangnya lebih dari 80 km (50 mil), pengaruh kapasitansinya besar dan biasanya tidak dapat diabaikan. Untuk saluran-saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansi menjadi bertambah penting.

2.6 Karakteristik Penyaluran Daya

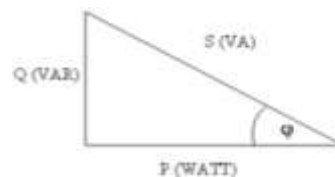
Tenaga listrik disalurkan melalui jaringan transmisi dari pusat pembangkit yang disebut pangkal pengiriman, menuju pusat-pusat beban yang disebut ujung penerimaan. Meskipun tenaga listrik disalurkan dengan sistem tiga fasa, tetapi



semua perhitungan dilakukan berdasarkan hubungan satu fasa sistem bintang. Dalam mempelajari karakteristik penyaluran daya yang meliputi variabel-variabel tegangan, arus, dan hilang daya, dapat dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan berbeda, yaitu :

1. Rangkaian yang parameter atau konstanta-konstantanya dikonsentrasikan (*lumped*), pendekatan ini digunakan untuk analisis saluran transmisi jarak pendek.
2. Rangkaian yang parameter atau konstanta-konstantanya didistribusikan sepanjang saluran transmisi.
 - a. Menghitung perbedaan besaran antara tegangan pada pangkal pengiriman (V_S) dengan tegangan pada ujung penerimaan (V_R).
 - b. Menghitung daya pada pangkal pengiriman dan ujung penerimaan.
 - c. Menghitung daya guna transmisi (daya keluar atau daya masuk).

Daya yang mengalir pada saluran transmisi seperti dilukiskan dalam segitiga daya berikut ini :



Gambar 2.13 Segitiga Daya

Dimana :

S : Daya semu (VA)

P : Daya aktif (W)

Q : Daya reaktif (VAR)

$\cos \theta$: Faktor Daya



2.6.1 Daya nyata

Daya nyata untuk tiga fasa dinyatakan dalam rumusan sebagai berikut :

$$P_S = \sqrt{3} V_{S(L-L)} I_S \cos \varphi_S \dots\dots\dots(2.26)^9$$

Dimana :

P_S = daya nyata pada ujung kirim (W)

$V_{S(L-L)}$ = tegangan pada ujung kirim fasa ke fasa (V)

I_S = arus pada ujung kirim (A)

$\cos \varphi_S$ = faktor daya pada ujung kirim

$$P_R = \sqrt{3} V_{R(L-L)} I_R \cos \varphi_R \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

P_R = daya nyata pada ujung terima (W)

$V_{R(L-L)}$ = tegangan pada ujung terima fasa ke fasa (V)

I_R = arus pada ujung terima (A)

$\cos \varphi_R$ = faktor daya pada ujung terima

2.6.2 Daya reaktif

Daya reaktif untuk tiga fasa dinyatakan dalam rumusan sebagai berikut :

$$Q_S = \sqrt{3} V_{S(L-L)} I_S \sin \varphi_S \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

Q_S = daya reaktif pada ujung kirim (W)

$V_{S(L-L)}$ = tegangan pada ujung kirim fasa ke fasa (V)

I_S = arus pada ujung kirim (A)

$\sin \varphi_S$ = faktor daya pada ujung kirim

$$Q_R = \sqrt{3} V_{R(L-L)} I_R \sin \varphi_R \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

Q_R = daya reaktif pada ujung terima (W)

⁹ Cekdin, C. Barlian, T., *Transmisi Daya Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta, 2013, hlm. 17.



$V_{R(L-L)}$ = tegangan pada ujung terima fasa ke fasa (V)

I_R = arus pada ujung terima (A)

$\text{Sin } \phi_R$ = faktor daya pada ujung terima

2.6.3 Daya semu

Daya reaktif untuk tiga fasa dinyatakan dalam rumusan sebagai berikut :

$$S_S = \sqrt{3} V_{S(L-L)} I_S \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

S_S = daya semu pada ujung kirim (W)

$V_{S(L-L)}$ = tegangan pada ujung kirim fasa ke fasa (V)

I_S = arus pada ujung kirim (A)

$$S_R = \sqrt{3} V_{R(L-L)} I_R \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :

Q_R = daya semu pada ujung terima (W)

$V_{R(L-L)}$ = tegangan pada ujung terima fasa ke fasa (V)

I_R = arus pada ujung terima (A)

2.7 Rugi-Rugi Saluran Transmisi

Rugi-rugi pada saluran transmisi terdiri dari rugi-rugi tegangan dan rugi-rugi daya.

2.7.1 Rugi-rugi tegangan

Rugi-rugi tegangan atau jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dan tegangan pada ujung penerimaan. Bisa dilihat dari persamaan berikut ini :

$$\Delta V = \text{Tegangan Kirim} - \text{Tegangan Terima} \dots\dots\dots (2.32)$$



2.7.2 Rugi-rugi daya

Rugi-rugi daya adalah selisih antara daya pada pangkal pengiriman dan daya pada ujung penerimaan. Besarnya rugi-rugi daya nyata yang terjadi pada saluran transmisi untuk tiga fasa adalah :

$$P_S = \sqrt{3} V_{S(L-L)} I_S \cos \varphi_S \dots\dots\dots(2.33)$$

$$P_R = \sqrt{3} V_{R(L-L)} I_R \cos \varphi_R \dots\dots\dots(2.34)$$

Maka :

$$P_{LOSSES} = P_S - P_R \dots\dots\dots (2.35)^{10}$$

Dimana :

P_S = Daya nyata pada ujung kirim (W)

P_R = Daya nyata pada ujung terima (W)

P_{LOSSES} = Rugi-rugi daya (W)

V_S = Tegangan pada ujung kirim (V)

V_R = Tegangan pada ujung terima (V)

I_S = Arus pada ujung kirim (A)

I_R = Arus pada ujung terima (A)

$\cos \varphi_S$ = Faktor daya pada ujung kirim

$\cos \varphi_R$ = Faktor daya pada ujung terima

¹⁰ Arismunandar, A. Kuwahara, S., *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1993, hlm. 62.