

Diagram Satu Garis

Dengan mengasumsikan bahwa sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang, penyelesaian rangkaian dapat dikerjakan dengan menggunakan rangkaian 1 fasa dengan sebuah jalur netral sebagai jalan balik. Seringkali dengan diagram semacam itu disederhanakan dengan mengabaikan jalur netralnya dan menunjukkan bagian-bagian komponen dengan lambang standar sebagai ganti rangkaian ekuivalennya. Diagram sistem tenaga listrik secara sederhana ini disebut diagram satu garis (*one line diagram*). Pembuatan diagram segaris ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran yang ringkas dari suatu sistem tenaga listrik. Lambang peralatan-peralatan yang biasa digunakan untuk membuat diagram segaris dapat dilihat pada standar yang berlaku.

Definisi diagram satu garis

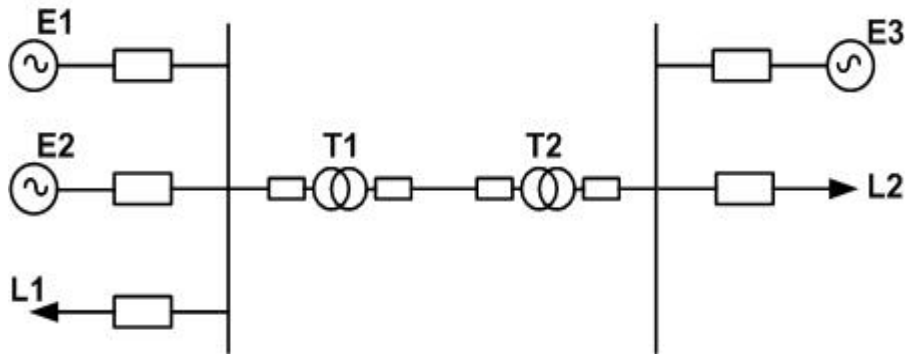
Tujuan pembuatan diagram satu garis

Keterangan mengenai beberapa sifat yang penting dari suatu sistem akan berbeda-beda, hal ini tergantung pada masalah yang akan ditinjau sesuai dengan maksud diagram tersebut dibuat. Misalnya lokasi dari pemutus rangkaian dan rele tidak penting apabila diagram tersebut digunakan untuk studi aliran daya, keterangan tentang pemutus rangkaian dan rele akan menjadi sangat penting untuk studi tentang kestabilan suatu sistem tenaga listrik dalam keadaan peralihan karena adanya gangguan. Untuk menghitung besarnya arus yang mengalir pada saat terjadi gangguan yang menyebabkan ketidakseimbangan pada sistem tiga fasa, harus diketahui letak dari titik dimana sistem tersebut dihubungkan dengan tanah.

Pada umumnya titik netral transformator pada sistem transmisi selalu ditanahkan secara langsung (*solidly grounded*). Netral generator biasanya ditanahkan melalui resistansi yang cukup tinggi atau melalui reaktansi induktif yang ditala (*tuned*) terhadap resonansi paralel dengan kapasitansi terhadap tanah yang tersebar dalam generator, kumparan transformator tegangan rendah dan dalam saluran antara generator

dengan transformator. Kumparan semacam ini disebut penetral gangguan tanah (*ground fault neutralizer*), kumparan ini juga dapat digunakan pada transformator.

Gambar 1.17, menunjukkan contoh diagram segaris suatu sistem tenaga listrik yang sederhana.



Gambar 1.17. Diagram segaris dari suatu sistem tenaga listrik

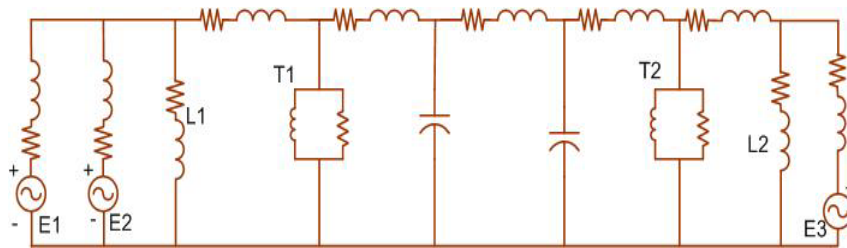
1. Diagram Impedansi dan Reaktansi

Untuk mengetahui perilaku sebuah sistem tenaga listrik dalam keadaan berbeban atau pada saat sistem mengalami gangguan, diagram segaris harus diubah terlebih dahulu menjadi diagram impedansi yang menunjukkan ekuivalen dari setiap komponen sistem tersebut dengan berpedoman pada salah satu sisi yang sama pada transformator.

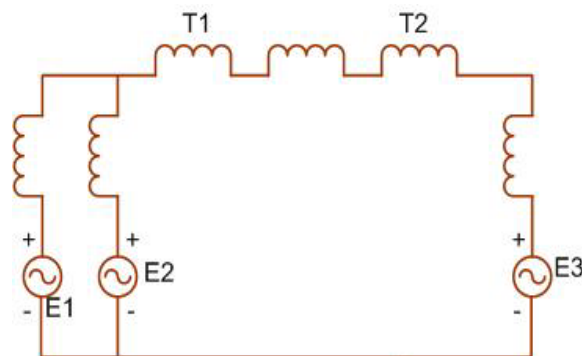
Gambar 1.18 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari diagram segaris gambar 1.17. Pada gambar 1.18, rangkaian ekuivalen untuk sebuah saluran transmisi dinyatakan dengan rangkaian nominal dimana resistansi dan reaktansi induktif total pada cabang simpangnya. Rangkaian ekuivalen untuk generator ditunjukkan sebagai sebuah sumber tegangan yang terhubung seri dengan resistansi dan reaktansi sinkronnya, dimana reaktansi untuk generator pada saat terjadi gangguan adalah reaktansi sub peralihan (*sub transient reactances*). Untuk rangkaian ekuivalen transformator diberikan dalam bentuk resistansi, reaktansi bocor

dan sebuah jalur untuk arus megnetisasi. Pada umumnya admitansi simpangnya diabaikan, karena arus megnetisasi sangat kecil dibandingkan dengan arus beban penuh. Rangkaian untuk beban ditunjukkan dengan resistansi dan reaktansi dalam hubungan seri atau paralel. Gambar 1.19, menunjukkan diagram impedansi dengan mengabaikan admitansi simpangnya.

Alasan pengabaian admitansi simpang



Gambar 1.18. Diagram impedansi dari diagram segaris gambar 1.17



Gambar 1.19. Diagram impedansi yang mengabaikan admitansi simpangnya

Dalam penggambaran diagram impedansi, impedansi-impedansi pembatas arus yang ditunjukkan pada diagram segaris tidak diikutsertakan sebab dalam keadaan yang seimbang tidak ada arus yang mengalir melalui impedansi-impedansi tersebut dan netral generator terletak pada potensial yang sama dengan netral pada sistem.

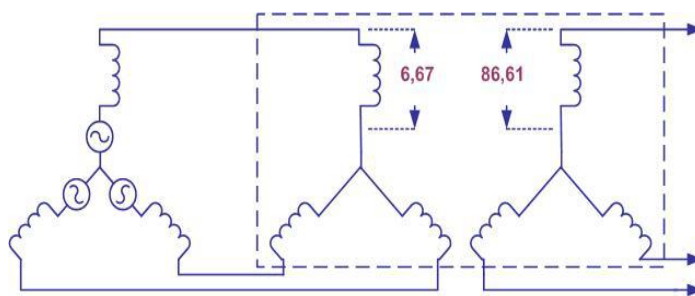
Yang harus diperhatikan dalam penggambaran diagram impedansi

Harga-harga reaktansi yang terdapat pada gambar 1.19 dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator. Karena

saluran transmisi berada pada sisi tegangan tinggi, harga reaktansinya tidak perlu dikoreksi. Demikian juga untuk kedua transformator, reaktansi bocornya tidak perlu dikoreksi karena data dari diagram satu garis menunjukkan bahwa reaktansi tersebut dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi.

Generator-generator yang terlihat pada gambar adalah berada pada sisi tegangan rendah dari transformator, sehingga reaktansi-reaktansinya harus dikoreksi dan dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator.

Generator 1 dan 2 dihubungkan pada rangkaian tegangan tinggi (saluran transmisi) melalui transformator tiga fasa yang terdiri dari tiga transformator satu fasa yang terdiri dari tiga transformator satu fasa yang terhubung Y-Y (seperti ditunjukkan gambar 1.20a).



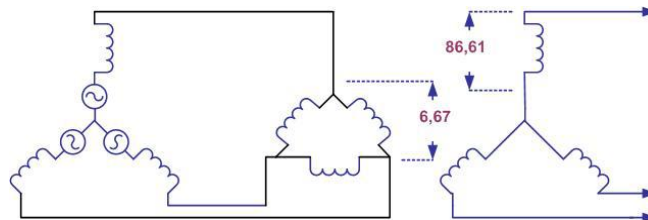
Gambar 1.20.a. Transformator Y-Y (11,5/150 KV)

Misalkan reaktansi generator masing-masing besarnya adalah 0,655 Ohm, 0,544 Ohm dan 0,145 Ohm. Reaktansi tiap-tiap fasa dari generator 1 sebesar 0,655 ohm (yang terhubung seri dengan tegangan internal E_1 dari generator 1), berada pada sisi tegangan 6,67 KV dari transformator. Jadi harga reaktansi tersebut dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator adalah :

$$0,655 \times (86,61/6,67)^2 = 110,44 \text{ ohm.}$$

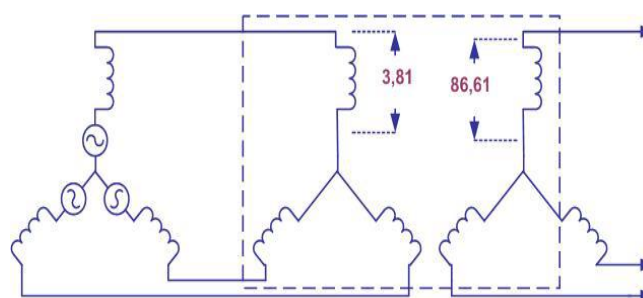
Dengan cara yang sama, harga reaktansi generator 2 dapat dinyatakan terhadap sisi tegangan tinggi dari transformator, yakni 91,71 ohm. Generator 3 dihubungkan pada saluran transmisi

melalui transformator dengan hubungan D-Y. Gambar 1.20.b menunjukkan hubungan transformator D -Y tersebut.



Gambar 1.20.b. Transformator D -Y (6,67/150 KV)

Pada gambar tersebut terlihat bahwa generator 3 dengan hubungan Y dihubungkan pada sisi transformator dengan hubungan D. Untuk menentukan harga reaktansi generator 3 terhadap sisi tegangan tinggi, transformator dengan hubungan Y-D dapat diganti dengan transformator yang mempunyai hubungan Y-Y, dengan demikian perbandingan belitan untuk masing-masing transformator 1 fasa adalah $86,61/3,85$ kV seperti ditunjukkan pada gambar 1.20.c.



Gambar 1.20.c. Transformator Y-Y (6,67/150 KV)

Berdasarkan gambar 1.20.c tersebut, harga reaktansi dari generator 3 terhadap sisi tegangan tinggi adalah $(86,61/3,89)^2 \times 0,145 = 73,48$ ohm.

Faktor pengali yang digunakan adalah sama dengan perbandingan tegangan saluran yang dipangkatkan dua, bukan perbandingan tegangan fasa yang dipangkatkan dua. Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa untuk merubah harga reaktansi terhadap satu sisi tegangan dari transformator tiga fasa, faktor pengali yang digunakan adalah perbandingan tegangan antara saluran dipangkatkan dua tanpa melihat hubungan dari transformator, Y-Y atau D -Y.

Besarnya pengali untuk merubah harga reaktansi

Pertanyaannya, apa signifikansi dari diagram impedansi dan reaktansi dalam sebuah sistem tenaga listrik? Bila Anda belum bisa menjawab pertanyaan tersebut di atas, Anda tidak usah khawatir. Silakan Anda review lagi materi halaman 25 dari bahan ajar ini.



2. Daya Listrik

Daya listrik dalam bentuk kompleks dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (1.17)$$

Gambar 1.21, menunjukkan vektor daya, tegangan dan arus. Dimana : S adalah daya listrik.

- $P = V.I \cos \Phi$: daya aktif / nyata (watt)
- $Q = V.I \sin \Phi$: daya reaktif / semu (VAR)
- V, I = harga efektif dari tegangan dan arus
- Φ = sudut fasa (I terbelakang terhadap V)
- $\cos \Phi$ = faktor daya (*power factor*)



Jadi :

$$S = V.I \cos \Phi + jV.I \sin \Phi$$

$$= V.I (\cos \Phi + j \sin \Phi)$$

atau

$$S = V.I \angle \Phi$$

Karena konjugate dari I adalah :

$$I^* = I \angle -\Phi$$

Maka jelaslah bahwa daya listrik dalam bentuk kompleks dapat dinyatakan sebagai:

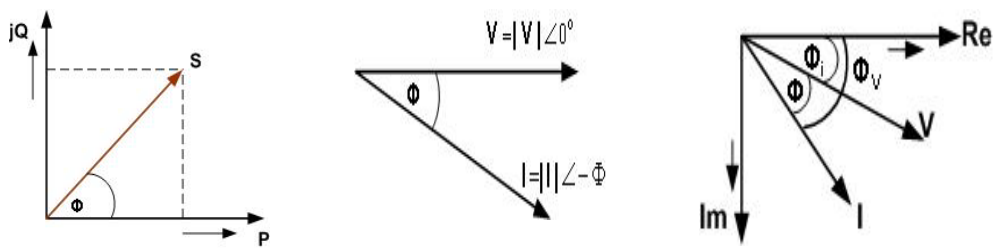
$$S = V \cdot I^* \dots\dots\dots (1.18)$$

atau

$$P + jQ = V \cdot I^* \dots\dots\dots (1.19)$$

Karena $V = V \angle \Phi^0$, sedangkan harga mutlak dari S atau disebut VoltAmpere dapat diperoleh dari:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = V \cdot I \dots\dots\dots (1.20)$$



a. Vektor daya

b. Vektor tegangan dan arus

Gambar 1.21. Vektor-vektor daya, tegangan dan arus

Dengan memperhatikan gambar 1.21.b, maka secara umum daya dapat ditentukan sebagai:

$$V = V \cdot \cos \Phi_v + jV \sin \Phi_v$$

$$I = I \cdot \cos \Phi_i + jI \sin \Phi_i$$

$$I^* = I \cdot \cos \Phi_i - jI \sin \Phi_i$$

Jadi,

$$S = V \cdot I$$

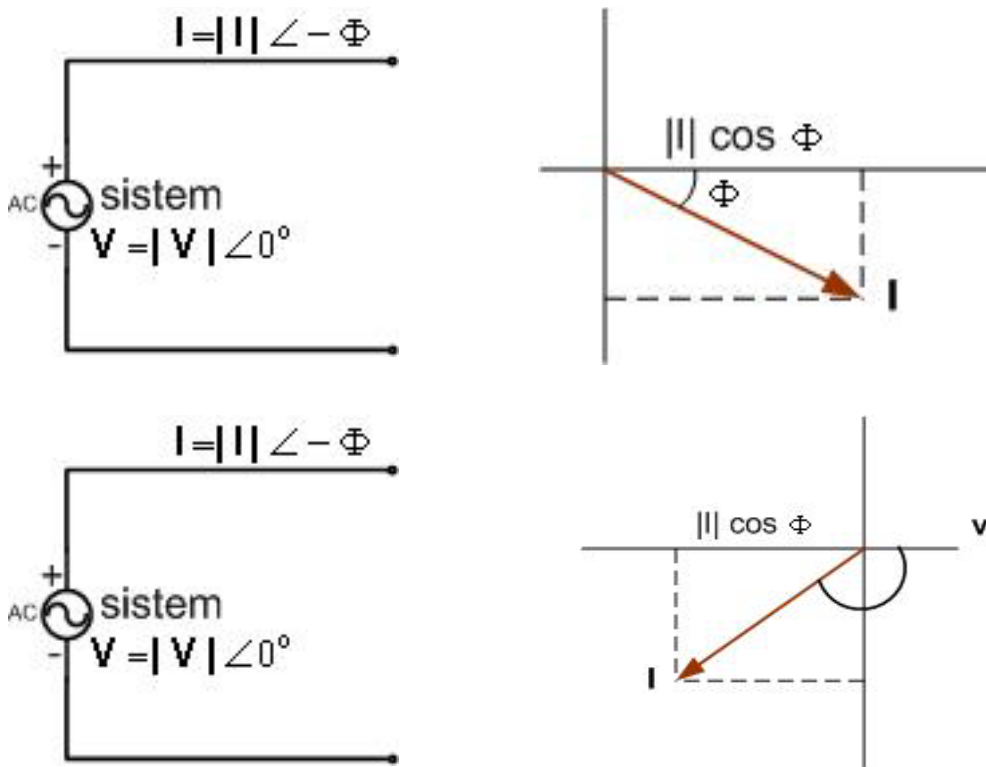
$$= (V \cdot \cos \Phi_v + jV \sin \Phi_v) \cdot (I \cdot \cos \Phi_i - jI \sin \Phi_i)$$

Karena $\Phi = (\Phi_v - \Phi_i)$, maka:

$$S = V.I \cos \Phi + j V.I \sin \Phi \dots\dots\dots (1.21)$$

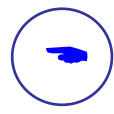
Daya reaktif mempunyai tanda positif bila arus I terbelakang (*lagging*) terhadap tegangan V. Sebaliknya bila arus I mendahului (*leading*) terhadap tegangan V, daya reaktif Q mempunyai tanda negatif. Hal ini sesuai dengan pemilihan tanda positif untuk daya reaktif pada rangkaian induktif dan tanda negatif untuk rangkaian kapasitif. Untuk menentukan arah aliran daya aktif, perhatikan gambar 1.22.

Konsep lagging dan leading



Gambar 1. 22. Arah aliran daya aktif

Bila $I \cdot \cos \Phi$ sefasa dengan V, seperti terlihat pada gambar 1.22, berarti daya listrik dibangkitkan (sumber adalah generator) dan mengalir menuju sistem (arus keluar dari terminal menuju positif sumber). Dalam hal ini $P = \text{Re}(V.I^*)$ mempunyai tanda positif. Bila $I \cdot \cos \Phi$ mempunyai beda fasa 180° terhadap V, seperti terlihat



Sedangkan untuk beban motor, maka:

$P = +$: sumber menyerap memberikan daya aktif

$P = -$: sumber memberikan daya aktif

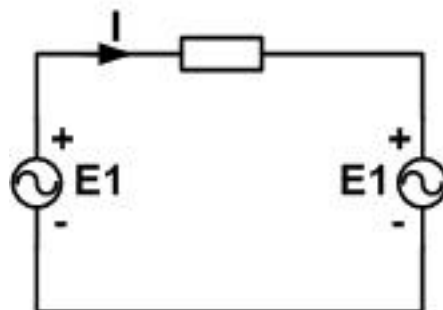
$Q = +$: sumber menyerap memberikan daya reaktif

$Q = -$: sumber memberikan daya reaktif

Sebagai ilustrasi, perhatikan contoh soal berikut ini:

Dua sumber tegangan ideal yang ditunjukkan pada gambar 1.24 menggambarkan dua buah mesin arus bolak-balik yang dihubungkan seperti terlihat dalam gambar. Bila tegangan $E_1 = 100\angle 0^\circ$, $E_2 = 100\angle 30^\circ$ volt dan $Z = 0 + j5$ ohm, tentukan:

- Untuk masing-masing mesin apakah mesin tersebut memberikan atau menerima daya reaktif dan berapa besarnya?
- Untuk masing-masing mesin apakah mesin tersebut memberikan atau menerima daya reaktif dan berapa besarnya?
- P dan Q yang diserap oleh impedansi Z ?



Gambar 1.24. Rangkaian contoh soal.

Penyelesaian:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{Z} = \frac{100 + j0 - (0,866 + j50)}{j5}$$

$$= \frac{13,4 - j50}{j5} = -10 - j2,68 = 10,35 \angle 195^\circ$$

$$E_1 I^* = 100(-10 + j2,68) = -1000 + j268$$

$$E_2 I^* = (86,6 + j50)(-10 + j2,68)$$

$$= -866 + j232 - j500 - 134$$