

$$S_{ij} = P_{ij} + j Q_{ij} = V_i \cdot I^*$$

$$S_{ji} = P_{ji} + j Q_{ji} = V_j (-I)^*$$

$$I = \frac{V_i - V_j}{Z}$$

$$\| S_{ij} = V_i \frac{V_i^* - V_j^*}{Z^*} \| = \frac{|V_i|^2 - |V_i||V_j| \angle \theta_i - \theta_j}{R - jX}$$

$$Z = R + jX \rightarrow Z^* = R - jX$$

$$\| S_{ji} = V_j \frac{V_j^* - V_i^*}{Z^*} \| = \frac{|V_j|^2 - |V_i||V_j| \angle \theta_j - \theta_i}{R - jX}$$

Judul antara kedua bus :

$$\delta = \theta_i - \theta_j$$

$$P_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R \cdot |V_i|^2 - R |V_i||V_j| \cos \delta + X |V_i||V_j| \sin \delta) \text{ dan}$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X |V_i|^2 - X |V_i||V_j| \cos \delta - R |V_i||V_j| \sin \delta)$$

Caranya sama :

$$P_{ji} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R |V_j|^2 - R |V_i||V_j| \cos \delta - X |V_i||V_j| \sin \delta) \text{ dan}$$

$$Q_{ji} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X |V_j|^2 - X |V_i||V_j| \cos \delta - R |V_i||V_j| \sin \delta)$$

Untuk $Z = jX$ dan

$$R = 0 \rightarrow P_{ij} = \frac{|V_i||V_j|}{X} \sin \delta$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{X} (|V_i|^2 - |V_i||V_j| \cos \delta)$$

Caranya sama :

$$P_{ji} = \frac{|V_i||V_j|}{X} \sin \delta = -P_{ij}$$

$$Q_{ji} = \frac{1}{X} (|V_j|^2 - |V_i||V_j| \cos \delta)$$

Contoh : 2

Saluran transmisi dengan impedansi $Z = 100 \angle 60^\circ \Omega$ tersambung pada bus 1 dan 2 dengan tegangan $73034,8 \angle 30^\circ$ Volt dan $66395,3 \angle 20^\circ$ Volt per fase.

Hitung :

a) Daya kompleks per fase yg dikirim dari bus 1 ke bus 2.

b) Daya aktif per fase.

c) Daya Reaktif per fase.

Jawab :

$$a) S_{12} = V_1 \frac{V_1^* - V_2^*}{Z^*}$$

$$= (73034,8 \angle 30^\circ) \frac{73.034,8 \angle -30^\circ - 66.395,3 \angle -20^\circ}{100 \angle -60^\circ}$$

Handwritten calculations for the numerator:
 $73249,992 - j36517,4$
 $- 62391,643 - j22708,701$
 $\rightarrow 858,349 - j13808,6$
 $13835,351 \angle -86,49^\circ$
 $138,353 \angle -26,949^\circ$

$$= 10.104.539,5 \angle 3,54^\circ$$

$$S_{12} = 10.085.259,8 + j623.908,4 \text{ VA}$$

Juga : $V_1 = 73.034,8 \angle 30^\circ \rightarrow V_1^* = 73.034,8 \angle -30^\circ$

$$b) S_{12} = P_{12} + jQ_{12}$$

$$P_{12} = 10.085.259,8 \text{ Watt}$$

$$c) Q_{12} = 623.908,4 \text{ VAR}$$

Soal PR

Soal tersebut diatas

Hitung : S_{21}

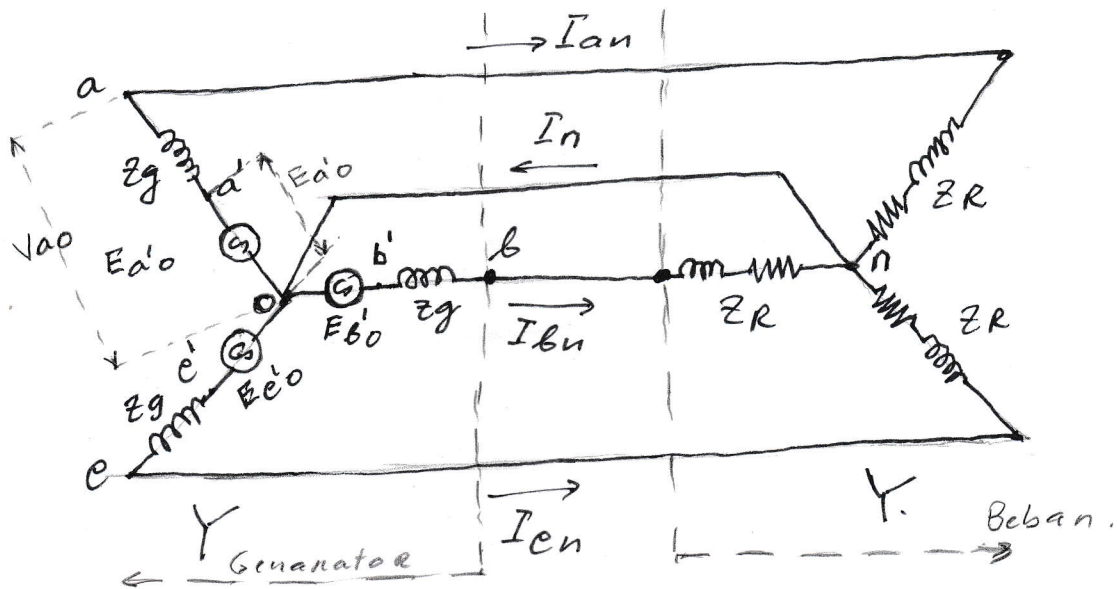
P_{21}

Q_{21}

$$S_{21} = V_2 \frac{V_2^* - V_1^*}{Z^*}$$

$$= (66395,3 \angle 20^\circ) \frac{66395,3 \angle -20^\circ - 73034,8 \angle -30^\circ}{100 \angle -60^\circ}$$

Tegangan dan arus pada rangkaian Tiga fase yang seimbang.



$$E'a'o = |E'a'o| \angle 0^\circ; E'b'o = |E'b'o| \angle 240^\circ; E'c'o = |E'c'o| \angle 120^\circ$$

$$V_{a'o} = E'a'o - I_{an} \cdot z_g$$

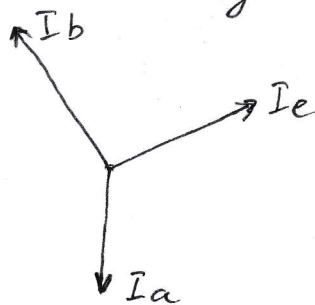
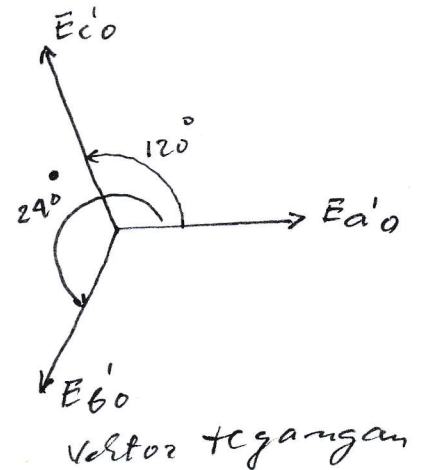
$$V_{b'o} = E'b'o - I_{bn} \cdot z_g$$

$$V_{c'o} = E'c'o - I_{cn} \cdot z_g$$

$$I_{an} = \frac{E'a'o}{z_g + z_R} = \frac{V_{an}}{z_R}$$

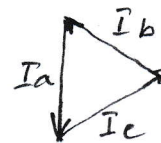
$$I_{bn} = \frac{E'b'o}{z_g + z_R} = \frac{V_{bn}}{z_R}$$

$$I_{cn} = \frac{E'c'o}{z_g + z_R} = \frac{V_{cn}}{z_R}$$



dijumlahkan

vektor arus



$$V_{ab} = V_{an} + V_{nb} = V_{an} - V_{bn}$$

$$|V_{ab}| = 2|V_{an}| \cos 30^\circ = \sqrt{3}|V_{an}| \rightarrow V_{ab} = \sqrt{3} V_{an} \angle 30^\circ$$

Contoh : 3 (lebel: hal: 25)

Dalam suatu rangkaian 3 ϕ simbang, tegangan V_{ab} adalah $173,2 \angle 0^\circ$ Volt. $\rightarrow 250 \angle 0^\circ$ Volt

Tentukanlah seluruh tegangan dan arus dalam suatu beban yg terhubung Y dengan $Z_L = 60 \angle 20^\circ \Omega$. $\rightarrow 12 \angle 15^\circ$

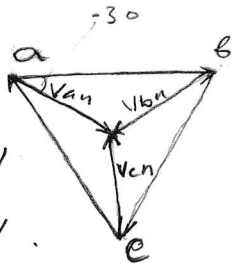
Misalkan bahwa urutan fase adalah a, b dan c.

Jawab :

$$V_{ab} = 173,2 \angle 0^\circ \text{ V} ; V_{an} = 100 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$V_{bc} = 173,2 \angle 240^\circ \text{ V} ; V_{bn} = 100 \angle 210^\circ \text{ V}$$

$$V_{ca} = 173,2 \angle 120^\circ \text{ V} ; V_{cn} = 100 \angle 90^\circ \text{ V}$$



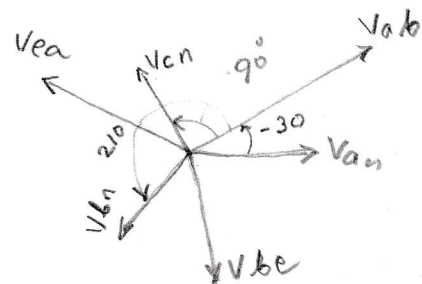
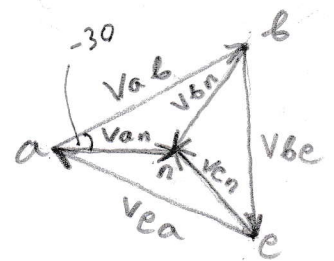
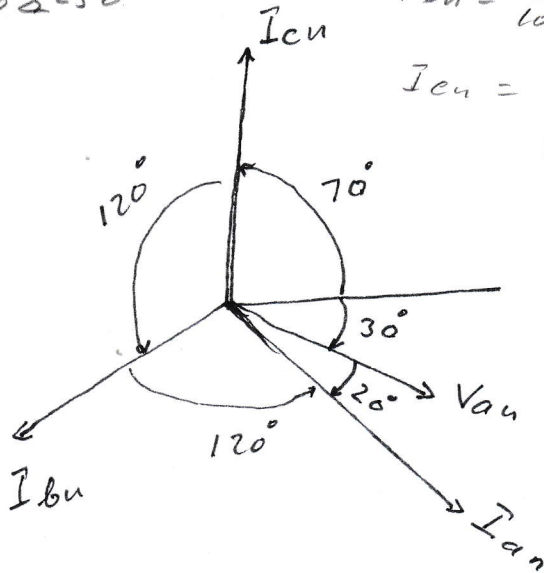
Masing? arus tertinggal 20° thd teg pada impedansi beban besarnya masing? arus 10 A.

$$\therefore I_{an} = 10 \angle -50^\circ ; I_{bn} = 10 \angle 190^\circ ; I_{cn} = 10 \angle 70^\circ \text{ A}$$

$$I_{an} = \frac{100 \angle -30^\circ}{10 \angle 20^\circ} = 10 \angle -50^\circ$$

$$I_{bn} = \frac{100 \angle 210^\circ}{10 \angle 20^\circ} = 10 \angle 190^\circ$$

$$I_{cn} = \frac{100 \angle 90^\circ}{10 \angle 20^\circ} = 10 \angle 70^\circ$$



Gambar Vector diagramnya.

$$V_{an} = \frac{173,2}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ$$

$$V_{bn} = \frac{173,2}{\sqrt{3}} \angle 210^\circ$$

$$V_{cn} = \frac{173,2}{\sqrt{3}} \angle 90^\circ$$

Contoh : 4

Tegangan terminal dari sebuah beban terhubung Y yg terdiri dari 3 impedansi yang sama sebesar $20 \angle 30^\circ \Omega$ adalah 4,4 kV antar saluran. $\rightarrow 20 \text{ kV}$

Impedansi pada masing-masing saluran dari setiap saluran yang menghubungkan beban ke bus dari sebuah substation adalah $Z_L = 1,4 \angle 75^\circ \Omega$. $\rightarrow 10 \angle 80^\circ$

Tentukan tegangan antar saluran pada bus substation.

Jawab:

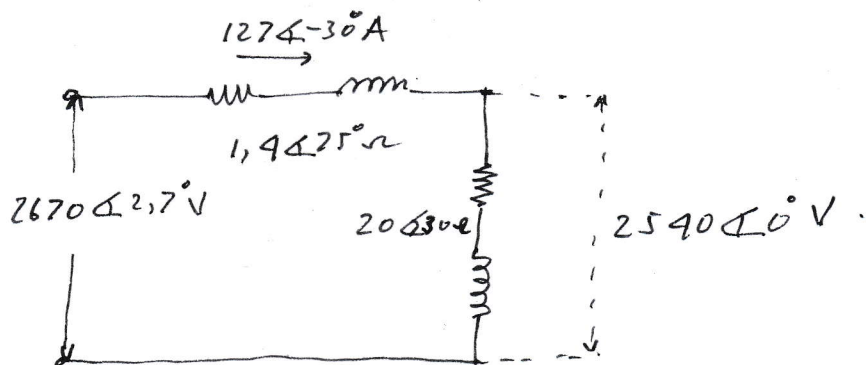
$$V_{an} = \frac{4400}{\sqrt{3}} = 2540 \angle 0^\circ$$

$$I_{an} = \frac{2540 \angle 0^\circ}{20 \angle 30^\circ} = 127,0 \angle -30^\circ \text{ A}$$



Tegangan saluran ke netral pada substation per fasa

$$\begin{aligned} V_{an} + I_{an} Z_L &= 2540 \angle 0^\circ + 127 \angle -30^\circ \cdot 1,4 \angle 75^\circ \\ &= 2540 \angle 0^\circ + 177,8 \angle 45^\circ \\ &= 2666 + j125,7 \\ &= 2670 \angle 2,70^\circ \text{ V} \end{aligned}$$



Tegangan antar saluran:

$$\sqrt{3} \cdot 2,67 = \underline{\underline{4,62 \text{ kV}}}$$

2. SATUAN PER. UNIT (P.U.)

Manfaat penggunaan p.u.

Perhitungan arus gangguan pada sistim tenaga listrik yang meliputi beberapa tingkat tegangan bila digunakan satuan per-unit.

Sebagai bahan pertimbangan dan sebab-sebab mengapa digunakan perhitungan dengan per-unit ialah :

- Bila elemen-elemen pada sistim tenaga listrik yang mempunyai beberapa tingkat tegangan, misalnya saluran transmisi mempunyai impedansi yang dinyatakan dalam ohm, nilai ohm akan berubah secara kwadratis dari perbandingan tingkat bila dari tingkat tegangan kesatu pindah ke tingkat tegangan yang lain.

Misalnya suatu transmisi 150 kV ke saluran transmisi 70 kV dengan digunakan trafo daya 150/70 kV, bila impedansi masing-masing saluran transmisi dinyatakan dalam ohm, untuk perhitungan arus gangguan maka perlu dipilih tegangan referensi, dalam hal ini misalnya dipilih pada tegangan 70 kV, maka impedansi transmisi 150 kV harus diubah ke 70 kV dengan mengkalikan $(70/150)^2$.

Bila impedansi dinyatakan dalam per-unit pada tegangan dasar tepat, masalah tersebut dapat dihindarkan.

Nilai Impedansi dalam per-unit untuk saluran transmisi pada satu sisi dari trafo daya akan sama bila dinyatakan dari sisi lainnya.

- Untuk generator dengan nominal yang sangat berbeda-beda yang mempunyai jenis sama, akan mempunyai nilai impedansi dalam per-unit yang hampir sama, sedang bila nilai impedansi dinyatakan dalam ohm sangat berbeda-beda tergantung dari nominalnya.

- Pembuat peralatan (generator, trafo daya, motor listrik) umumnya mengatakan nilai impedansi peralatannya dalam per-unit atau % (nilai impedansi yang dinyatakan dalam % bila diubah ke per-unit ialah dibagi 100) pada dasar dari nominal alat tersebut. Dalam menganalisa sistim yang menggunakan peralatan tersebut dapat langsung menggunakan nilai impedansi yang dinyatakan dalam per-unit bila pada analisa tersebut tegangan dan kVA dasar yang digunakan sama dalam nominal peralatan tersebut, tetapi bila tegangan dan kVA dasar yang digunakan berbeda dengan nominal peralatan tersebut, nilai impedansi tersebut perlu diubah ke dasar yang digunakan pada perhitungan sistim tersebut.

- Dalam mempelajari suatu sistem bila besaran-besaran arus atau tegangan dinyatakan dalam ampere atau kV tidak dapat cepat untuk mengetahui keadaan sistem tersebut, lain halnya kalau dinyatakan dalam per-unit, terutama bila dalam sistem mempunyai beberapa tingkat tegangan yang sangat berbeda.

Sebagai contoh arus yang besarnya 100 A mempunyai arti yang berbeda pada tingkat tegangan yang berbeda. Tergantung dari arus nominalnya, maka 100 A ini dapat merupakan yang berbahaya untuk sistem yang satu, tetapi mungkin juga merupakan beban yang kecil untuk sistem lainnya.

Dalam sistem per-unit, yang digunakan sebagai dasar umumnya dekat dengan nominalnya, sehingga pada contoh diatas dalam hal pertama 100 A mungkin merupakan 1.6 per-unit (sehingga merupakan 60 % beban lebih) sedang pada hal yang kedua 100 A mungkin hanya merupakan 0.35 per-unit. Untuk keperluan tersebut maka 1.6 dan 0.35 p.u lebih mempunyai arti daripada dinyatakan dalam 100 A.

Menentukan nilai dalam p.u.

Ditentukan persamaan dasar tegangan arus-impedansi yaitu :

$$E = I Z \dots\dots\dots$$

Dimana satuan dari E, I dan Z masing-masing dalam volt, ampere dan ohm. Bila persamaan tersebut dibagi dengan suatu angka yang tidak mempengaruhi persamaan tersebut, yaitu dengan angka dari tegangan dasar E_b .

$$\frac{E}{E_b} = \frac{I Z}{E_b}$$

E_b = tegangan dasar

Pada tegangan dasar E_b , arus dasar I_b dan impedansi dasar Z_b juga berlaku persamaan dasar, maka

$$E_b = I_b Z_b \dots\dots\dots \frac{E}{E_b} = \frac{I Z}{I_b Z_b} \rightarrow E = I \cdot Z \rightarrow E_b = I_b Z_b$$

*I_b = arus dasar
 Z_b = impedansi dasar*

Dari persamaan, per-unit didefinisikan sebagai berikut :

$$E_{p.u} = \frac{E(Volt)}{E_b(Volt)} ; I_{p.u} = \frac{I(A)}{I_b(A)} \text{ dan } Z_{p.u} = \frac{Z(\Omega)}{Z_b(\Omega)}$$

dan kemudian berlaku juga

$$E_{p.u} = I_{p.u} Z_{p.u} \dots\dots\dots$$

Ditentukan persamaan dasar dari daya-tegangan - arus yaitu :

$$VA = E I$$

Bila daya dasar VA_b dinyatakan dalam volt-ampere, maka berlaku juga persamaan :

$$VA_b = E_b I_b$$

$$\text{maka : } \frac{VA}{VA_b} = \left(\frac{E}{E_b} \right) \left(\frac{I}{I_b} \right) \rightarrow VA_{p.u} = E_{p.u} I_{p.u}$$

$$\text{dimana : } VA_{p.u} = \frac{VA}{VA_b}$$

Hubungan tegangan dasar - arus dasar - impedansi dasar - daya dasar dinyatakan dengan persamaan tersebut bila dua besaran nilai dasar telah ditentukan dari hubungan, maka dua besaran nilai dasar lainnya akan tertentu. Umumnya ditentukan nilai dasar dari daya dan tegangan sedang nilai dasar arus dan impedansinya dihitung. Bila nilai-nilai dasarnya dinyatakan dengan satuan-satuan sebagai berikut :

- E_b : tegangan dasar dalam kV
- I_b : arus dasar dalam A
- Z_b : impedansi dasar dalam ohm
- kVA_b : daya dasar dalam kVA

maka rumus dan menjadi :

$$1000 E_b : I_b Z_b$$

$$kVA_b : E_b I_b$$

Dalam perhitungan dengan satuan per-unit ditentukan nilai dasarnya dan sebagai patokan umumnya diambil nilai dasar daya dalam MVA untuk sistem yang sudah besar, dan kVA untuk sistem yang masih kecil atau pada perhitungan sistem distribusi dan nilai dasar tegangan dalam kV. Untuk sistem satu fasa dan tiga fasa bila nilai dasar dari daya dan tegangan telah ditentukan dapat dihitung nilai dasar dari arus dan impedansinya dengan rumus-rumus pada tabel I.

TABEL I

DASAR	Nilai dasar			
	Sistim 1 fasa		Sistim 3 fasa	
Daya kVA_b/MVA_b	kVA	MVA	kVA	MVA
Tegangan E_b	kV	kV	kV	kV
Arus $I_b (A)$	$\frac{kVA_b}{E_b \rightarrow kV}$	$\frac{1000 MVA_b}{E_b \rightarrow kV}$	$\frac{kVA_b}{\sqrt{3} E_b \rightarrow kV}$	$\frac{1000 MVA_b}{\sqrt{3} E_b \rightarrow kV}$
Impedansi $Z_b (\Omega)$	$\frac{1000 E_b^2}{kVA_b}$	$\frac{E_b^2}{MVA_b}$	$\frac{1000 E_b^2}{kVA_b}$	$\frac{E_b^2}{MVA_b}$

Catatan : untuk sistim 3 fasa kVA_b/MVA_b merupakan daya untuk tiga fasa dan tegangan E_b merupakan tegangan antar fasa.

Untuk sistim yang mempunyai tingkat tegangan yang berbeda-beda, maka diambil nilai dasar daya tertentu, dengan nilai dasar tegangan sesuai dengan tegangan pada lokasi yang ditinjau, sehingga nilai dasar arus dan impedansinya juga dihitung berdasarkan setiap nilai dasar tegangan yang ditinjau. Namun demikian seperti telah dijelaskan sebelumnya nilai per-unit akan tetap.

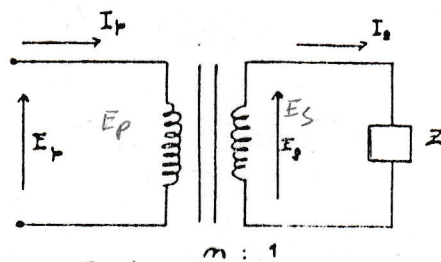
Dengan demikian hasil perhitungan yang didapat dalam per-unit dikalikan nilai-nilai dasarnya pada lokasi yang ditinjau akan didapat nilai yang sesungguhnya.

Pada perhitungan kadang-kadang diperlukan untuk mengubah impedansi per-unit dari nilai kVA (MVA) dasar atau/ dan nilai tegangan dasar yang satu ke nilai dasar lainnya. Dalam hal ini untuk merubah impedansi dalam per-unit digunakan rumus :

$$Z_{p.u}^{br} = Z_{p.u}^{lm} \left[\frac{kV_b^{br}}{kV_b^{lm}} \right]^2 \left[\frac{kVA_b^{br}}{kVA_b^{lm}} \right]$$

dimana : (br) = menyatakan baru, dan (lm) = menyatakan lama.

Seperti telah dinyatakan diatas bahwa akan terbukti keuntungan dalam cara perhitungan dengan menggunakan satuan per-unit jika dipilih tegangan dan kVA dasar yang tepat pada kedua sisi trafo daya. Bila diambil kVA dasar dan tegangan dasar dimasing² tegangan pada kedua sisi trafo dayanya, maka nilai per-unit impedansi dari salah satu sisi dari trafo tidak akan berubah bila dilihat dari sisi lainnya. Hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan trafo daya satu fasa yang ideal (impedansinya nol) yang mempunyai impedansi beban Z seperti pada gambar :



Gambar

n = perbandingan transformasi
dari trafo = E_p/E_s

E_p dan E_s tegangan dalam kV.

I_p dan I_s arus dalam A.

Z = impedansi beban dalam ohm.

$$\begin{aligned} E_p &= n E_s \quad \text{dan} \quad I_p = I_s/n \\ E_p/I_p &= n^2 E_s/I_s \quad \dots \quad Z_p = n^2 Z_s \end{aligned}$$

atau Z beban dilihat dari sisi primair sama dengan $n^2 Z$.

Sekarang jika dipilih nilai kVA dasar sama dan nilai tegangan dasar E_{pB} dan E_{sB} , maka terdapat hubungan.

$$E_{sB} = E_{pB}/n$$

$$Z_{sB} = \frac{1000 E_{sB}^2}{\text{kVA}} = \frac{1000 (E_{pB}/n)^2}{\text{kVA}}$$

$$\begin{aligned} Z_{p.u} \text{ dilihat dari sisi sekundair} &= Z_{sB} \\ &= Z \frac{n^2 \text{ kVA}}{E_{pB}^2} \end{aligned}$$

$$Z_{p.u} \text{ dilihat dari sisi primair} = \frac{Z \text{ dilihat dari sisi primer}}{Z_{pB}}$$

$$= \frac{n^2 Z}{1000 E_{pB}^2 / \text{kVA}} = Z \frac{n^2 \text{ kVA}}{1000 E_{pB}^2}$$

$$= Z_{p.u} \text{ dilihat dari sisi sekundair.}$$

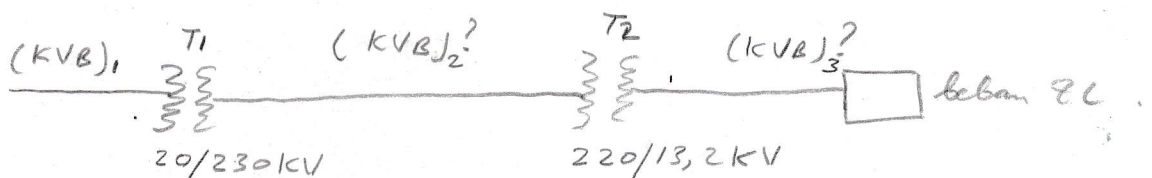
Dengan demikian dengan pemilihan kVA dasar dan tegangan dasar yang tepat, nilai impedansi per-unit pada satu sisi trafo daya dapat langsung digunakan pada sisi trafo daya lainnya.

$$Z_{pu} = \frac{Z_n \cdot MVA_B}{(KV)^2_B} \rightarrow MVA \text{ dasar nya } MVA$$

$$Z_{pu} = \frac{Z_n \cdot KVAB}{(KV)^2_B \cdot 1000} \rightarrow MVA \text{ dasar nya } KVA$$

$$Z_{pu} = Z\% \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2 \rightarrow \text{jika } MVA_B = MVA$$

$$Z_{pu} = Z\% \left(\frac{MVA_B}{MVA} \right) \cdot \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2$$



$$(KV_B)_2 = \frac{230}{20} \cdot (KV_B)_1 \rightarrow KV$$

$$(KV_B)_3 = \frac{13,2}{220} \cdot (KV_B)_2 \rightarrow KV$$

jika pada T_2 terdapat impedansi bocor $Z\%$.

$$\text{maka } Z_{pu} = Z\% \left(\frac{MVA_B}{MVA} \right) \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2$$

jika pada beban terdapat di T_2 yaitu $Z_L (\Omega)$.

$$\text{maka : } Z_{pu} = \frac{Z(\Omega)}{Z_B}$$

11,5 KV / 220 Volt ; 50 KVA

Contoh : 5

Sebuah transformator berfasa tunggal mempunyai rating $\frac{S}{P} \frac{V}{V}$ 110/440 V; 2,5 KVA. $\rightarrow \frac{440}{110}$

Reaktansi bocor yg diukur dari sisi tegangan rendah adalah 0,06 Ω . $\rightarrow 0,12 \Omega$

Tentukan: Reaktansi bocor dalam per unit.

Jawab

$$\text{Impedansi dasar tegangan rendah} = \frac{0,110^2 \cdot 1000}{2,5} = 4,84 \Omega$$

$$\text{Dalam PU} \Rightarrow X = \frac{0,06}{4,84} = 0,0124 \text{ PU (teg. rendah)}$$

Jika reaktansi bocor telah diukur pada sisi tegangan

rendah: nilai nya ke teg. tinggi

$$X = 0,06 \left(\frac{440}{110} \right)^2 = 0,96 \Omega \rightarrow Z_p = n^2 Z_s$$

Impedansi dasar tegangan tinggi:

$$= \frac{0,440^2 \cdot 1000}{2,5} = 77,5 \Omega$$

$$\text{Dalam PU} \rightarrow X = \frac{0,96}{77,5} = 0,0124 \text{ PU (dari sisi teg. tinggi)}$$

Contoh : 6

Tiga bagian sebuah sistem listrik fasa tunggal ditangisi-kan dengan A, B dan C dan dihubungkan satu dg yg lain melalui transformator.

Transformator tsb mempunyai rating sebagai berikut

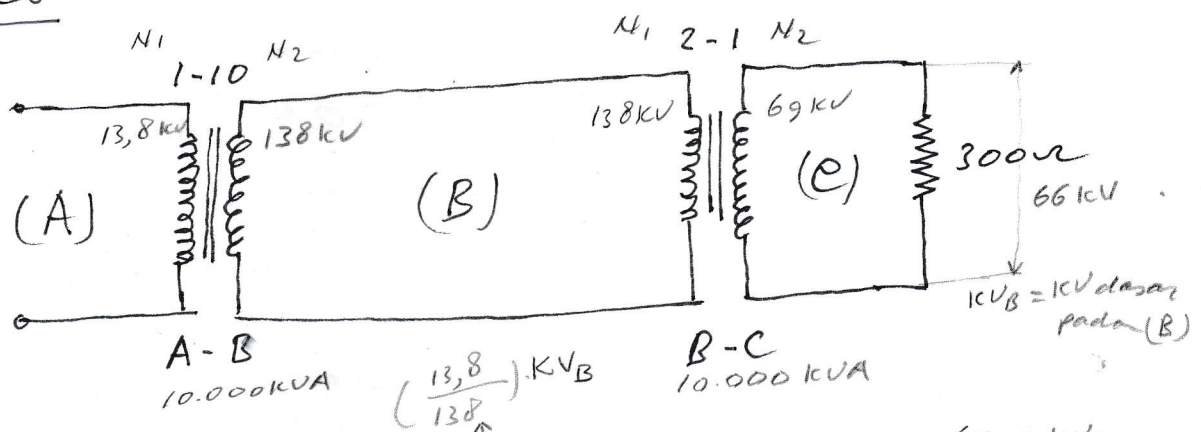
A-B. 10.000 KVA, 138/13,8 KV, reaktansi bocor 10. %

B-C. 10.000 KVA; 138/69 KV, reaktansi bocor 8 %

jika untuk dasar rangkaian B dipilih 10.000 KVA, 138 KV, carilah impedansi PU dari beban resistif 300 Ω pada rangkaian C yg dibedakan ke rangkaian

C, B dan A. Gambarkan diagram impedansi dengan mengabaikan arus magnet, resistansi transformator dan impedansi saluran. Tentukan regulasi tegangan jika tegangan pada beban 66 kV dan dimisalkan bahwa masukan tegangan pada rangkaian A tetap konstan.

Jawab:



$$\text{Tegangan dasar (A)} = 0,1 \cdot 138 = 13,8 \text{ kV}$$

$$\text{--- " --- (C)} = 0,5 \cdot 138 = 69 \text{ kV}$$

$$\text{Impedansi dasar (C)} = \frac{69^2 \cdot 1000}{10.000} = 476 \Omega \rightarrow \frac{(kV_B)^2 \cdot 1000}{kVA_B}$$

$$\text{Impedansi pu beban C} = \frac{300}{476} = 0,63 \text{ pu} \rightarrow \frac{Z(\Omega)}{Z_B}$$

$$\text{Impedansi dasar (B)} = \frac{138^2 \cdot 1000}{10.000} = 1900 \Omega \rightarrow \frac{(kV_B)^2 \cdot 1000}{kVA_B}$$

$$\text{Impedansi beban tldp (B)} = 300 \cdot 2^2 = 1200 \Omega \rightarrow \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot Z$$

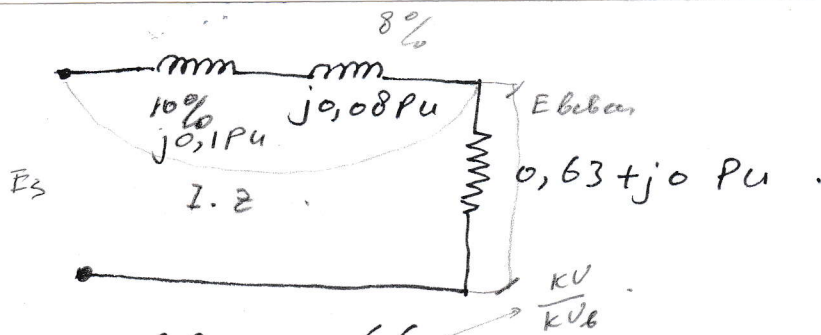
$$\text{Impedansi pu beban tldp (B)} = \frac{1200}{1900} = 0,63 \text{ pu}$$

$$\text{Impedansi dasar (A)} = \frac{13,8^2 \cdot 1000}{10.000} = 19 \Omega \rightarrow \frac{(kV_B)^2 \cdot 1000}{kVA_B}$$

$$\text{Impedansi beban tldp (A)} = 300 \cdot 2^2 \cdot 0,1^2 = 12 \Omega$$

$$\text{Impedansi pu beban (A)} = \frac{12}{19} = 0,63 \text{ pu}$$

$$\left(\frac{2}{1}\right)^2 \left(\frac{1}{10}\right)^2$$



$$\text{Tegangan pada beban} = \frac{66}{69} = 0,957 + j0 \text{ pu}$$

$$\text{Arus beban} = \frac{0,957 + j0}{0,63 + j0} = 1,52 + j0 \text{ pu}$$

$$\begin{aligned} \text{Masukan tegangan (E_s)} &= (1,52 + j0)(j0,10 + j0,08) + 0,957 \\ &= 0,957 + j0,279 \rightarrow (1,52)(0,957 + j0,18) \\ &= 0,995 \text{ pu} \rightarrow 0,995 \angle 15,98^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Regulasi tegangan} = \frac{E_s - E_{\text{beban}}}{E_{\text{beban}}} \cdot 100\% = \frac{0,995 - 0,957}{0,957} \cdot 100\% = 3,97\%$$

Contoh: 7

Tiga transformator dengan rating 25 MVA; 38,1/3,81 kV dihubungkan Y- Δ , dengan beban, simbang berupa tiga tahanan dari 0,6 Ω , yg dihubungkan Y.

Pilihlah 75 MVA; 66 kV sebagai dasar untuk riri tegangan tinggi transformator.

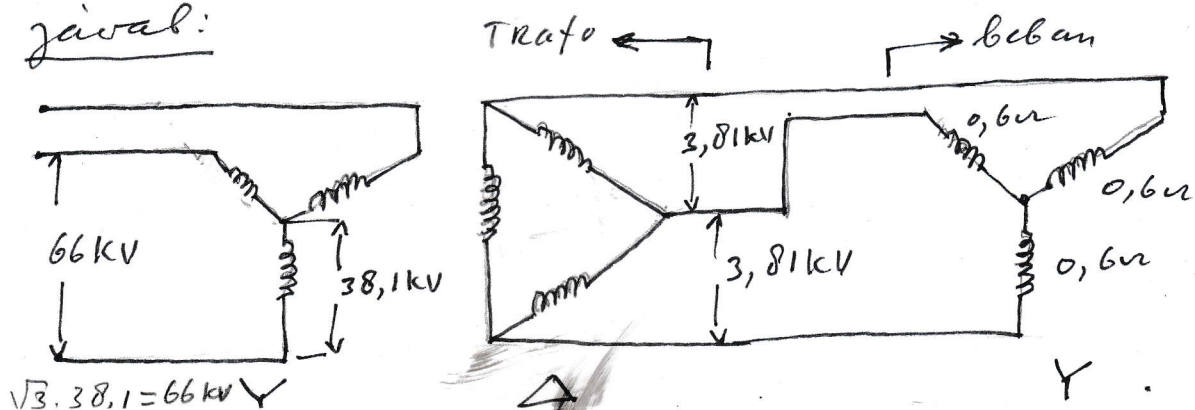
Tentukan:

a). Dasar untuk riri tegangan rendah.

b). Peristansi pu dari beban dg dasar riri teg rendah

c). Peristansi pu dari beban dg dasar riri teg tinggi

jawab:



Rating dari trafo sebagai suatu gabungan tiga fase adalah $3 \cdot 25 = 75 \text{ MVA}$; $\sqrt{3} \cdot 38,1 = 66 \text{ kV}$.

Jadi dasar untuk riri tegangan Rendah adalah 75 MVA ; $3,81 \text{ kV}$.

Impedansi dasar pada riri teg Rendah:

$$\frac{(3,81)^2}{75} = 0,1935 \Omega \rightarrow \frac{(kV_b)^2}{MVA_b}$$

Impedansi beban pu pada dasar riri teg Rendah:

$$R_L = \frac{0,6}{0,1935} = 3,10 \text{ pu}$$

Impedansi dasar pada riri teg tinggi:

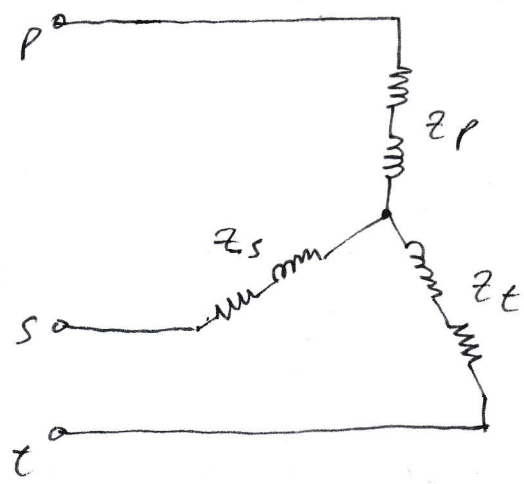
$$\frac{(66)^2}{75} = 58,1 \Omega \rightarrow \frac{(kV_b)^2}{MVA_b}$$

Jesuai perhitungan per fase terhadap riri tegangan tinggi:

$$180 \Omega \text{ (Hevenin)} \text{ hal. 143} \rightarrow 0,6 \left(\frac{66}{3,81} \right)^2 = 180 \Omega$$

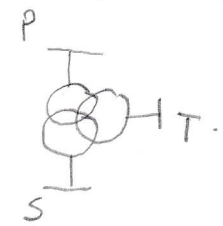
$$\text{jadi: } R_L(\text{pu}) = \frac{180}{58,1} = 3,10 \text{ pu}$$

Impedansi Persatuan dari Transformator tiga kumparan



Tiga kumparan:

1. Primer.
2. Sekunder
3. Tertiary.



Rangkaian ekuivalen trafo 3 kumparan, titik P, S dan T menghubungkan rangkaian trafo ke rangkaian ekuivalen yg melukiskan bagian sistem yg dihubungkan kumparan: primer, sekunder dan ternier.

Tiga impedansi dapat diukur dg pengujian
hubung singkat standar yaitu:

Z_{ps} = impedansi bocor yg diukur pada humpasan
primer dengan sekunder terhubung singkat dan
turbin terbuka.

Z_{pt} = impedansi bocor yg diukur pada humpasan
primer dg turbin terhubung singkat dan sekun-
der terbuka.

Z_{st} = impedansi bocor yg diukur pada sekunder
dengan turbin terhubung singkat dan primer
terbuka.

$$Z_{ps} = Z_p + Z_s$$

$$Z_{pt} = Z_p + Z_t$$

$$Z_{st} = Z_s + Z_t$$

} dimana Z_p , Z_s dan Z_t adalah
impedansi humpasan primer,
sekunder dan turbin terhadap
rangkaiannya primer jika
 Z_{ps} , Z_{pt} dan Z_{st} adalah impedansi
yg terukur terhadap rangkaian
primer.

maka akan didapat:

$$Z_p = \frac{1}{2}(Z_{ps} + Z_{pt} - Z_{st})$$

$$Z_s = \frac{1}{2}(Z_{ps} + Z_{st} - Z_{pt})$$

$$Z_t = \frac{1}{2}(Z_{pt} + Z_{st} - Z_{ps})$$

Contoh: 8

Rating tiga fase transformator tiga humpasan sbt:

- Primer dihubungkan Y, 66 kV, 15 MVA

- sekunder ——— Y, 13,2 kV; 10,0 MVA

- Turbin ——— Δ ; 2,3 kV; 5 MVA

Dengan mengabaikan resistansi, impedansi bocor sb:

$$Z_{ps} = 7\% \text{ dengan dasar } 15 \text{ MVA}, 66 \text{ kV}$$

$$Z_{pt} = 9\% \quad \text{--- " ---} \quad 15 \text{ MVA}; 66 \text{ kV}$$

$$Z_{st} = 8\% \quad \text{--- " ---} \quad 10,0 \text{ MVA}; 13,2 \text{ kV}.$$

Tentukan :

Impedansi pu dari rangkaian saluran yg dihubung
kan secara bintang dg dasar 15 MVA; 66 kV
pada rangkaian primer.

Jawab :

Dengan mata dasar 15 MVA; 66 kV pada rangkaian primer,
dasar yg sesuai untuk impedansi pu dari rangkaian
saluran adalah 15 MVA; 66 kV untuk kuantitas rangkaian
primer, 15 MVA; 13,2 kV untuk kuantitas rangkaian
turun, 15 MVA; 2,3 kV untuk kuantitas rangkaian terier.

$$Z_{st} = 8\% \cdot \frac{15}{10} = 12\% \rightarrow 8\% \cdot \frac{\text{MVA dasar}}{\text{MVA Trafo}} = 8\% \cdot \frac{15}{10} = 12\%$$

$$Z_p = \frac{1}{2} (j0,07 + j0,09 - j0,12) = j0,02 \text{ pu}$$

$$Z_s = \frac{1}{2} (j0,07 + j0,12 - j0,09) = j0,05 \text{ pu}$$

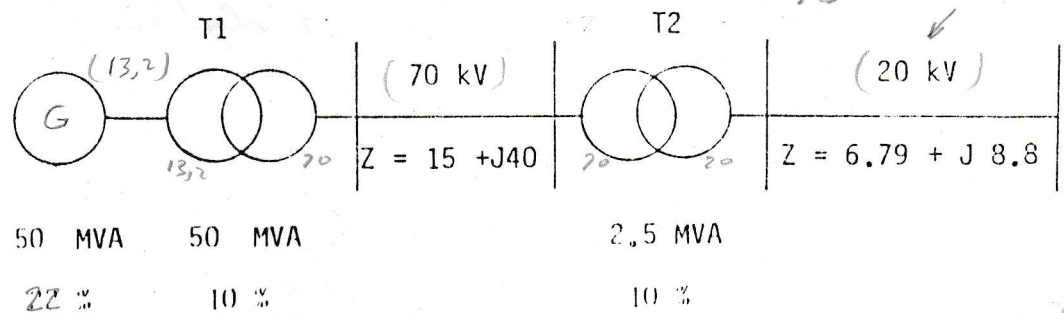
$$Z_t = \frac{1}{2} (j0,09 + j0,12 - j0,07) = j0,07 \text{ pu}$$

Contoh : 9

Suatu sistem tenaga listrik tiga fasa seperti gambar dan data-datanya tercantum pada gambar tersebut.

Bila ditentukan MVA_B sama dengan 100 MVA dan kV_B sesuai tegangan nominalnya.

Tentukan, arus dasar (I_B), impedansi dasar (Z_B) dan impedansi jaringan dalam per-unit.



Daya dasar 100 MVA

* Pada sistem 70 kV

$$I_B = \frac{1000 \times 100}{70 \sqrt{3}} \text{ A} = 825 \text{ A}$$

$$Z_B = \frac{70^2}{100} \text{ ohm} = 49 \text{ ohm}$$

* Pada sistem 20 kV

$$I_B = \frac{1000 \times 100}{20 \sqrt{3}} \text{ A} = 2887 \text{ A}$$

$$Z_B = \frac{20^2}{100} \text{ ohm} = 4 \text{ ohm}$$

* Impedansi dalam p.u

$$X_g = j0,22 \times \frac{100}{50} \text{ p.u} = j0,44 \text{ p.u}$$

$$X_{T1} = j0,10 \times \frac{100}{50} \text{ p.u} = j0,20 \text{ p.u}$$

$$0,22 \cdot \frac{100}{50} \left(\frac{13,2}{13,2} \right)^2 = j0,44 \text{ p.u}$$

$$x\% = \frac{MVA_B}{MVA_{generator}} \cdot \frac{kV}{kV_B} \cdot pu$$

$$x\% = \frac{MVA_B}{MVA_{trafo}} \cdot \frac{kV}{kV_B} \cdot pu$$

$$\frac{Z_r}{Z_b} \text{ pu} - \text{untuk } 20 \text{ kV}$$

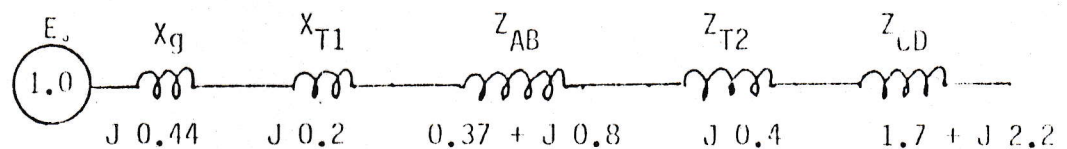
$$Z_{AB} = \frac{15 + j 40}{49} \text{ p.u} = 0.31 + j 0.82 \text{ p.u}$$

$$X_{T2} = j 0.10 \times \frac{100}{25} \text{ p.u} = j 0.4 \text{ p.u}$$

$$Z_{CD} = \frac{6.79 + j 8.8}{4} \text{ p.u} = 1.7 + j 2.2 \text{ p.u}$$

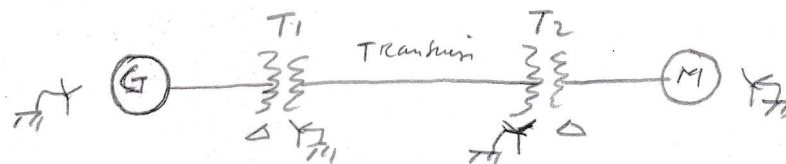
$$\frac{Z_r}{Z_b} \text{ pu} - \text{untuk } 20 \text{ kV}$$

Bila sistem diatas dinyatakan dalam p.u



Soal PR:

Lengkapi gambar:



Data: Hb:

Generator:

3 ϕ , 20 kV, 300 MVA; $X'' = 20\%$, Y_{TH}

Transformator: (T1)

3 ϕ , 350 MVA; 20/230 kV, Δ/Y_{TH} , $X_{T1} = 6\%$

Saluran Transmisi:

Panjang: 64 km, $Z = 0.5 \Omega/\text{km}$

Transformator (T2)

3 ϕ , 300 MVA; 220/13.2 kV; Y_{TH}/Δ ; $X_{T2} = 6\%$

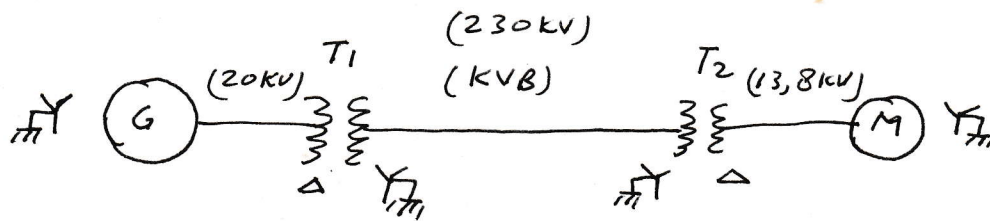
Motor:

3 ϕ , 200 MVA, 13.2 kV; Y_{TH} ; $X''_m = 20\%$

Dipilih tegangan dasar (kV_b) = 230 kV dan MVA dasar (MVA_b) = 300 MVA

Tentukan: Reaktansi masing-masing? dan pu dan gambar dan

jawab:



$$KV_B = 230 \text{ KV}; MVA_B = 300 \text{ MVA}.$$

$$\text{Tegangan dasar } G = \frac{20}{230} \cdot 230 = 20 \text{ KV}.$$

$$X_G = X_{\%}^0 \left(\frac{MVA_B}{MVA_G} \right) \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2 = 0,2 \cdot \frac{300}{300} \cdot \left(\frac{20}{230} \right)^2 = 0,2 \text{ Pu}.$$

$$T_1 \rightarrow X_{T_1} = X_{\%}^0 \left(\frac{MVA_B}{MVA} \right) \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2 = 0,1 \cdot \frac{300}{300} \cdot \left(\frac{230}{230} \right)^2 = 0,0857 \text{ Pu}$$

$$T_2 \rightarrow X_{T_2} = X_{\%}^0 \left(\frac{MVA_B}{MVA} \right) \left(\frac{KV}{KV_B} \right)^2 = 0,1 \cdot \frac{300}{300} \cdot \left(\frac{220}{230} \right)^2 = 0,0915 \text{ Pu}$$

atau:

Tegangan dasar pada sisi tegangan Rendah:

$$\left(\frac{13,2}{220} \right) \cdot 230 = 13,8 \text{ KV}.$$

$$\text{jadi } X_{T_2} = 0,1 \left(\frac{300}{300} \right) \left(\frac{13,2}{13,8} \right)^2 = 0,0915 \text{ Pu}.$$

Jaluran:

$$Z_B = \frac{KV_B^2}{MVA_B} = \frac{230^2}{300} = 176,333 \Omega.$$

$$Z_L \text{ (Pu)} = \frac{64 \cdot 0,5}{176,33} = 0,1815 \text{ Pu}.$$

Motor:

$$X_m = 0,2 \cdot \left(\frac{300}{200} \right) \left(\frac{13,2}{13,8} \right)^2 = 0,2745 \text{ Pu}.$$

