

MATERI KULIAH :

1. ANALISIS GANGGUAN / HUBUNG SINGKAT
2. ANALISIS STABILITAS

DALAM ANALISIS SISTEM TENAGA II, DIANALISIS SISTEM DALAM KEADAAN PERALIHAN DAN TIDAK SIMETRI.

ATAU ANALISIS DILAKUKAN SESAAT ($S/D \sim 1$ DETIK) SETELAH TERJADI GANGGUAN DALAM SISTEM, DIMANA SISTEM MUNGKIN DALAM KEADAAN TIDAK SIMETRI ATAU SIMETRI.

ANALISA GANGGUAN

JENIS GANGGUAN YANG MUNGKIN TERJADI PADA SISTEM TENAGA LISTRIK 3 PHASA :

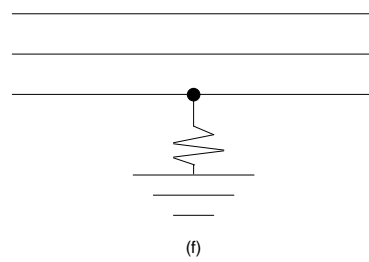
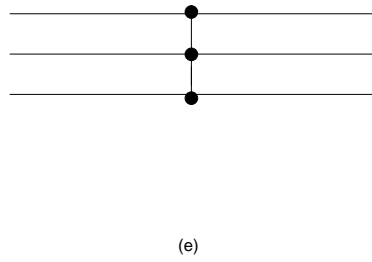
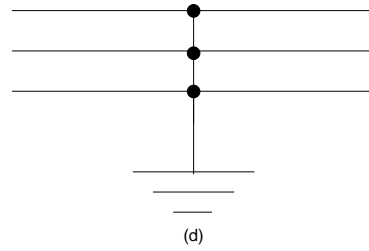
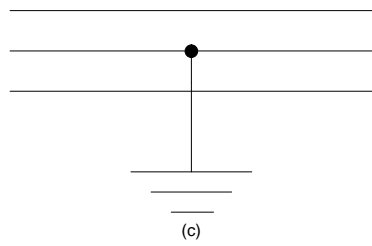
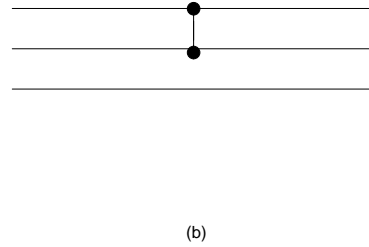
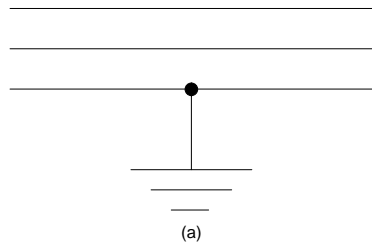
- A. GANGGUAN SHUNT (HUBUNG SINGKAT)
 1. HUBUNG SINGKAT 3 PHASA SIMETRI
 - a. TIGA PHASA (L-L-L)
 - b. TIGA PHASA KE TANAH (L-L-L-G)
 2. HUBUNG SINGKAT TIDAK SIMETRI
- B. GANGGUAN SERI (HUBUNGAN TERBUKA)
 1. SATU SALURAN TERBUKA (1L-0)
 2. DUA SALURAN TERBUKA (2L-0)
 3. IMPEDANSI SERI TAK SEIMBANG

C. GANGGUAN SIMULTAN

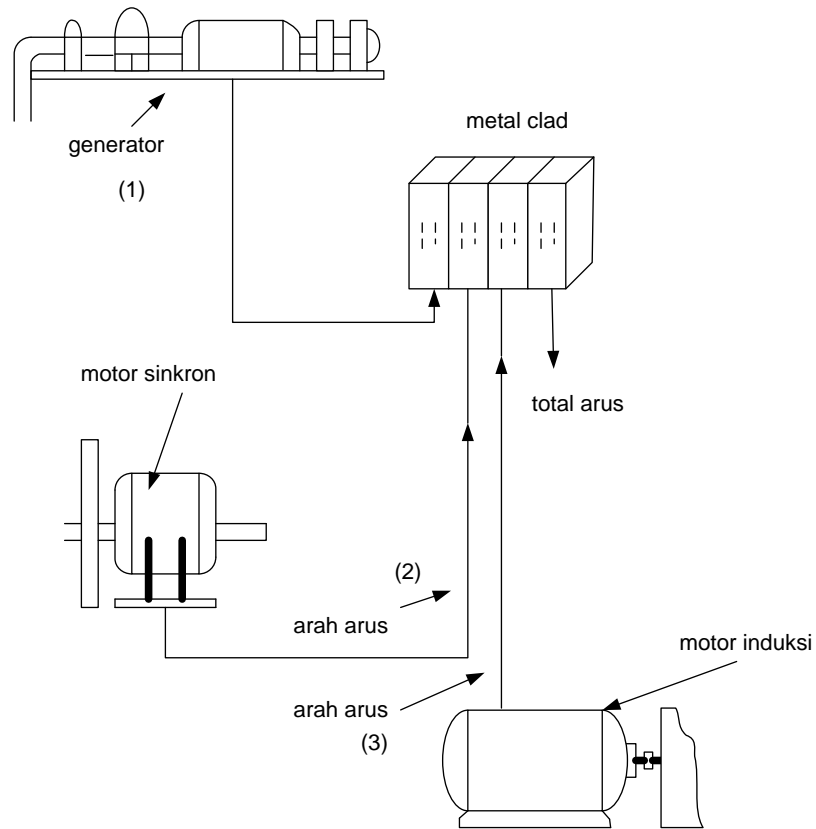
1. SHUNT-SHUNT

2. SHUNT-SERI

3. SERI-SERI



MACAM GANGGUAN YANG TERJADI PADA SISTEM TENAGA



SUMBER ARUS GANGGUAN

TUJUAN ANALISIS GANGGUAN (SHUNT)

TUJUAN DARI ANALISIS GANGGUAN (ANALISIS HUBUNG SINGKAT) ADALAH :

MENENTUKAN ARUS DAN TEGANGAN MAXIMUM & MINIMUM PADA BAGIAN-BAGIAN / TITIK-TITIK TERTENTU DARI SUATU SISTEM TENAGA LISTRIK UNTUK JENIS-JENIS GANGGUAN YANG MUNGKIN TERJADI,

SEHINGGA DAPAT DITENTUKAN POLA PENGAMAN, RELAY DAN PEMUTUS (CIRCUIT BREAKER) UNTUK MENGAMANKAN SISTEM DARI KEADAAN ABNORMAL DALAM WAKTU YANG SEMINIMAL MUNGKIN.

SUMBER ARUS GANGGUAN

1. GENERATOR SINKRON
2. MOTOR SINKRON
3. MOTOR INDUKSI

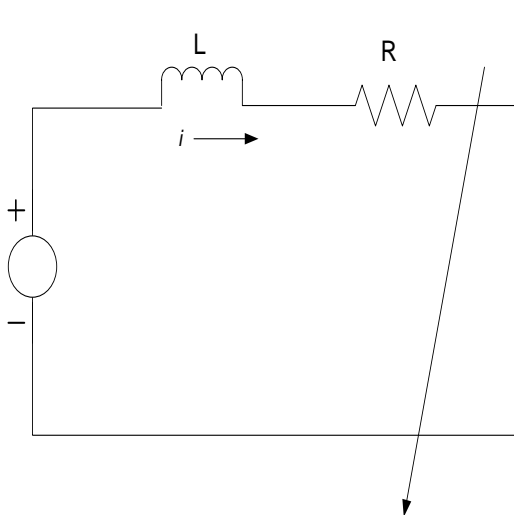
ARUS GANGGUAN YANG BERASAL DARI MOTOR INDUKSI BIASANYA DIABAIKAN.

ASUMSI DALAM ANALISIS GANGGUAN

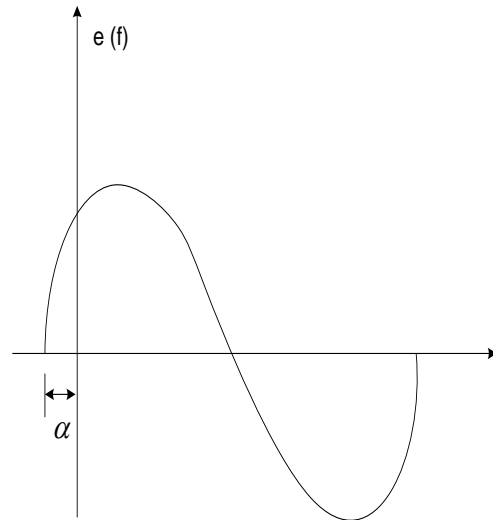
1. BEBAN NORMAL, KAPASITANSI PENGISIAN SALURAN (LINE CHARGING CAPACITANCE), HUBUNGAN SHUNT KE TANAH DIABAIKAN.
2. SEMUA TEGANGAN INTERNAL SISTEM MEMPUNYAI MAGNITUDE DAN PHASE SAMA.
3. BIASANYA TAHANAN SERI DARI SALURAN TRANSMISI DAN TRAFO DIABAIKAN.

4. SEMUA TRAFU DIANGGAP PADA POSISI TAP NORMAL
5. GENERATOR MOTOR DIPRESENTASIKAN DENGAN SUMBER TEGANGAN TETAP YANG DIHUBUNGGAN SERI
 - DENGAN REAKTANSI SUB PERALIHAN x_d'' (SISTEM DALAM KEADAAN SUB-PERALIHAN)
 - ATAU DENGAN REAKTANSI PERALIHAN x_d' (SISTEM DALAM KEADAAN PERALIHAN)
 - ATAU DENGAN REAKTANSI SINKRON x_d (SISTEM DALAM KEADAAN STEADY-STATE)

PERALIHAN SELAMA GANGGUAN



RANGKAIAN SISTEM TENAGA LISTRIK



SUMBER TEGANGAN IDEAL

$$e(t) = E_m \sin (\omega t + \alpha)$$

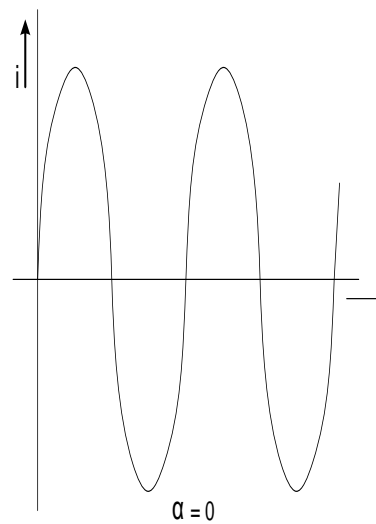
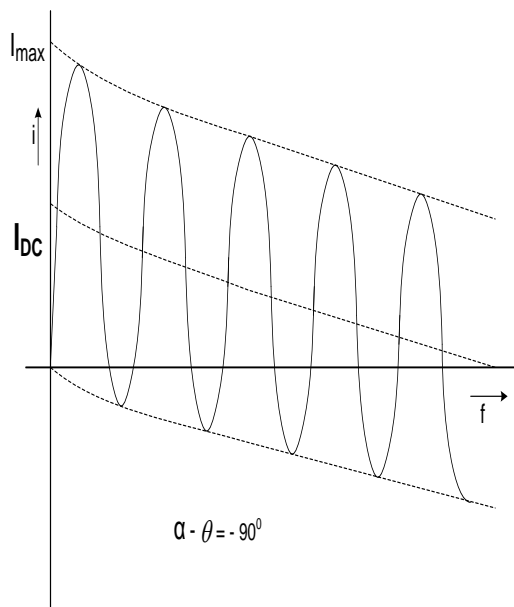
PERS. DIFF : $E_m \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt}$

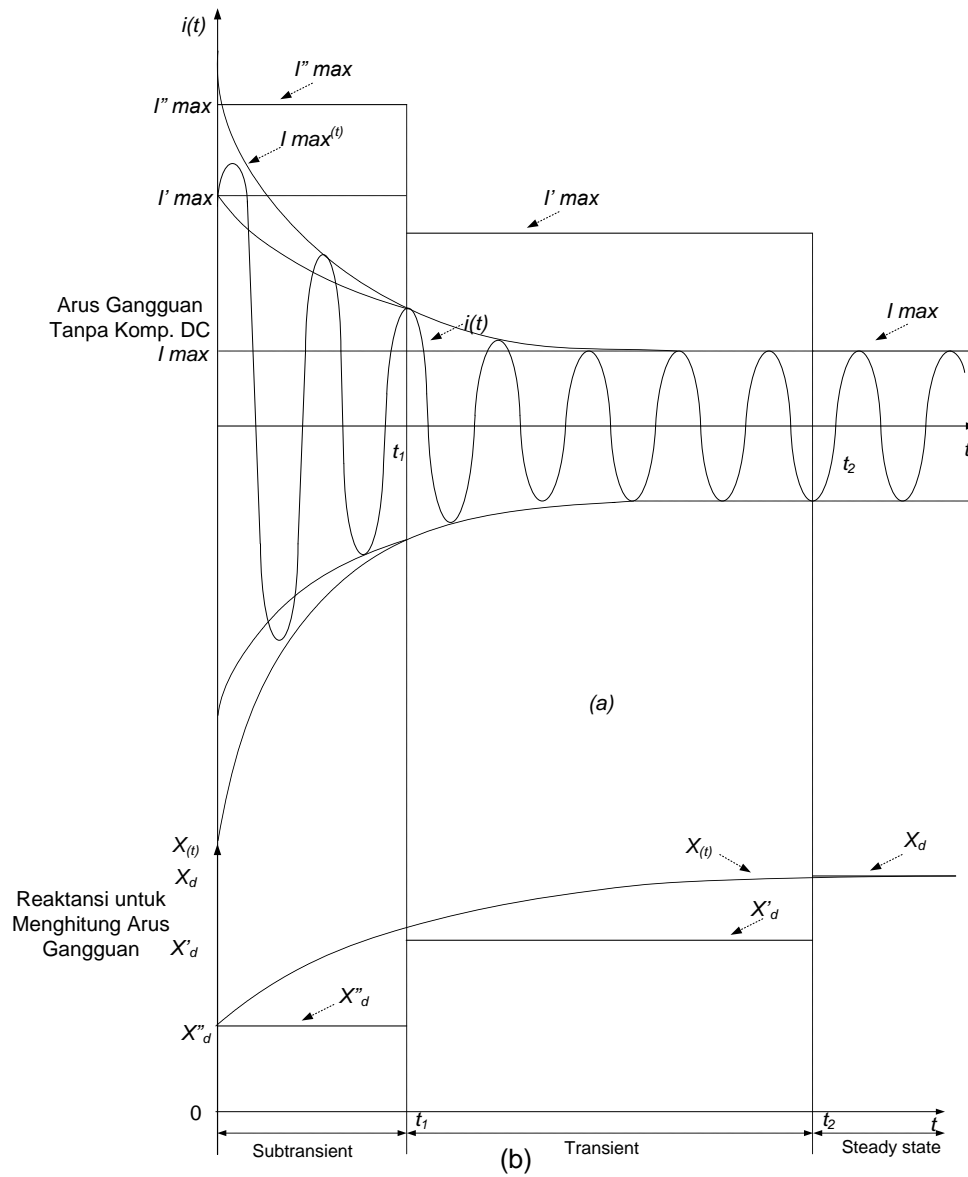
$I(t) = \left(\frac{Em}{Z}\right) [\sin(\omega t + \alpha - \Theta) - \sin(\alpha - \Theta) e^{-\frac{Rt}{L}}] \Theta$

DIMANA : $Z = R^2 + (\omega^2 L^2)^{\frac{1}{2}}$

$\Theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$

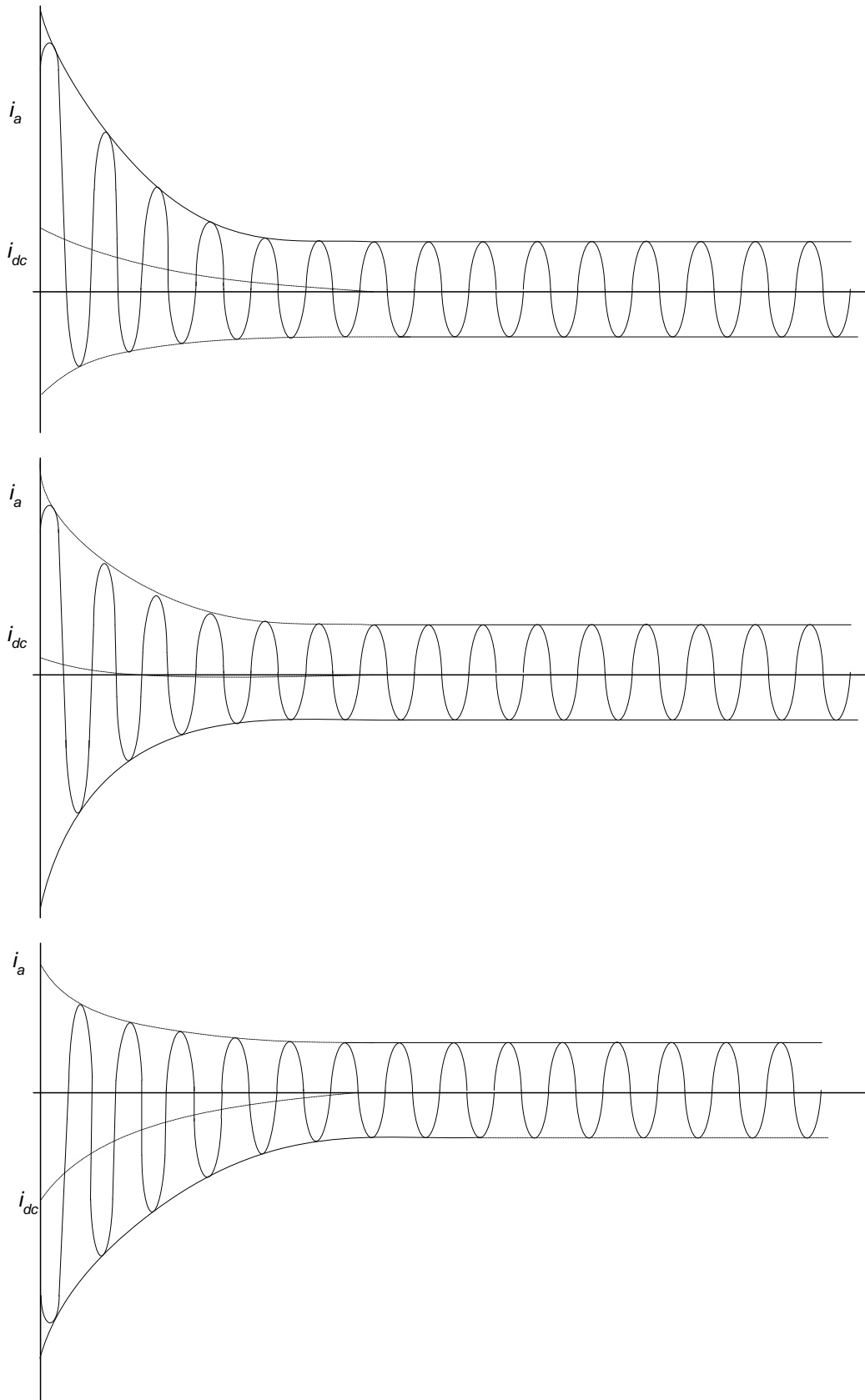
$\frac{Em}{Z} \sin(\alpha - \Theta) e^{-\frac{Rt}{L}}$ KOMPONEN DC





SUMBER TEGANGAN TIDAK IDEAL (GENERATOR)

ARUS GANGGUAN (HUBUNG SINGKAT) DARI PHASA a, b DAN c DENGAN KOMPONEN DC $\neq 0$



CATATAN :

1. SAAT TERJADI HUBUNG SINGKAT TIDAK BISA DIRAMAL, SEHINGGA HARGA α TIDAK DAPAT DIKETAHUI TERLEBIH DAHULU
2. KOMPONEN DC HILANG DENGAN CEPAT, BIASANYA DALAM 8-10 cycles
3. REAKTANSI DARI MESIN SINKRON BERUBAH TERHADAP WAKTU
4. UNTUK MENGHITUNG ARUS GANGGUAN, REAKTANSI MESIN SINKRON DAPAT DINYATAKAN SBB :

X_d : REAKTANSI SUB-PERALIHAN
UNTUK MENENTUKAN ARUS GANGGUAN SELAMA CYCLE PERTAMA SETELAH GANGGUAN TERJADI DALAM WAKTU 0.05 – 0.1 detik X_d' BERTAMBAH BESAR MENJADI →

X_d' : REAKTANSI PERALIHAN
UNTUK MENENTUKA ARUS GANGGUAN SETELAH BEBERAPA CYCLE SETELAH GANGGUAN TERJADI DALAM WAKTU 0.2 – 2 detik X_d' BERTAMBAH BESAR MENJADI →

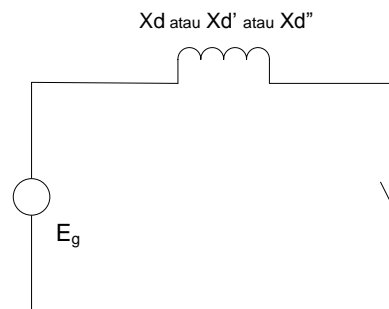
X_d : REAKTANSI SINKRON
UNTUK MENENTUKAN ARUS GANGGUAN SETELAH KEADAAAN STEADY STATE DICAPAI

HUBUNG SINGKAT 3 PHASA

PADA GENERATOR DALAM KEADAAN TANPA BEBAN

BILA GENERATOR BEKERJA TANPA BEBAN SEBELUM TERJADI HUBUNG SINGKAT 3 PHASA PADA TERMINAL-TERMINALNYA,

ARUS HUBUNG SINGKAT MAXIMUM(SIMETRIS) I_{max} (t) DAN REAKTANSINYA DAPAT DITENTUKAN (PENDEKATAN) SEPERTI TERLIHAT DALAM GAMBAR



$$X_{d''} = \frac{E_{max}}{I_{max''}}$$

$$X_{d'} = \frac{E_{max}}{I_{max'}}$$

$$X_d = \frac{E_{max}}{I_{max}}$$

E_{max} = GANGGUAN MAX. LINE NEUTRAL DARI

GENERATOR (NO LOAD)

E_g = HARGA EFEKTIF TEGANGAN (LINE NEUTRAL NEUTRAL NO LOAD)

$$I'' = \frac{E_g}{X_{d''}}$$

$$I' = \frac{E_g}{X_{d'}}$$

$$I = \frac{E_g}{X_d}$$

I'' = ARUS SUB-PERALIHAN (HARGA EFEKTIF, TANPA KOMP. DC)

I' = ARUS PERALIHAN (HARGA EFEKTIF, TANPA KOMP. DC)

I = ARUS STEADY STATE (HARGA EFEKTIF)

HUBUNG SINGKAT 3 PHASA

PADA GENERATOR DALAM KEADAAN BERBEBAN

TEGANGAN INTERNAL DI BELAKANG REAKTANSI SUB-PERALIHAN (E_g'')

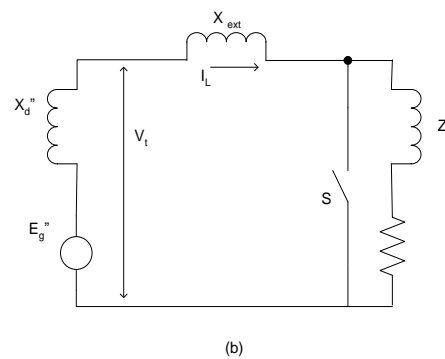
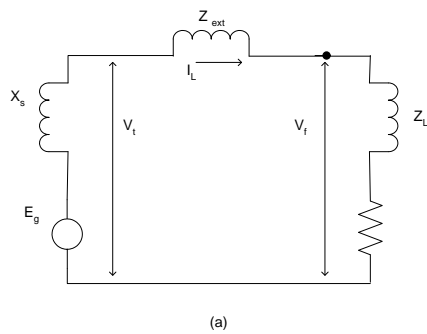
ATAU PERALIHAN (E_g')

GENERATOR :

$$\begin{aligned} E_g'' &= V_t + jI_L X_d'' \\ E_g' &= V_t + jI_L X_d' \end{aligned}$$

MOTOR

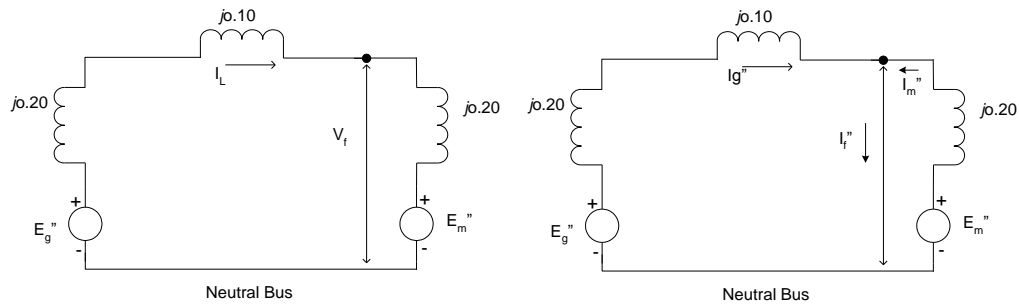
$$\begin{aligned} E_m'' &= V_t - jI_L X_d'' \\ E_m' &= V_t - jI_L X_d' \end{aligned}$$



METODE 1 : MENGGUNAKAN TEGANGAN INTERNAL DI BELAKANG REAKTANSI SUB PERALIHAN

METODE 2 : MENGGUNAKAN RANGKAIAN PENGGANTI THEVENIN

CONTOH : (METODE 1)



MOTOR, GENERATOR : 30.000Kva, 13.2 Kv, $X'' = 20 \%$

SALURAN : $X = 10 \%$ (BASE:RATING MESIN)

MOTOR MENYERAP DAYA 20.000 Kw, p.f. : 0.8 Leading

DENGAN TEGANGAN TERMINAL 12.8 Kv PADA SAAT TERJADI HUBUNG SINGKAT 3 PHASA SIMETRIS PADA TERMINAL MOTOR

BASE: 30.000Kva, 13,2 kV

$$V_f = \frac{12.8}{13.2} = 0.97 \angle 0^\circ \text{ pu}$$

$$I_{\text{BASE}} = \frac{30.000}{\sqrt{3} \times 13,2} = 1312 \text{ A}$$

$$I_L = \frac{20.000}{0.8 \times \sqrt{3} \times 12,8} = 1128 \angle 36,9^\circ \text{ A}$$

$$= \frac{1128}{1312} = 0,86 \angle 36,9^\circ \text{ p}$$

$$= 0,86(0,8 + j0,6) = 0,69 + j0,52 \text{ pu}$$

GENERATOR:

$$V_t = 0,970 + j0,1(0,69 + j0,52) = 0,918 + j0,069 \text{ pu}$$

$$\begin{aligned} E_g'' &= 0,918 + j0,069 + j0,2(0,69 + j0,52) \\ &= 0,814 + j0,207 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$I_g'' = \frac{0,814 + j0,207}{j0,3} = 0,69 - j2,71 \text{ pu}$$

$$= 1312(0,69 - j2,71) = 905 - j3550 \text{ A}$$

MOTOR:

$$V_t = V_f = 0,97 \angle 0^\circ \text{ pu}$$

$$E_m'' = 0,97 - j0,2(0,69 + j0,52) = 1,074 - j0,138 \text{ pu}$$

$$I_m'' = \frac{1,074 - j0,138}{j0,2} = -0,69 - j5,37 \text{ pu}$$

$$= 1312(-0,69 - j5,37) = -905 - j7050 \text{ A}$$

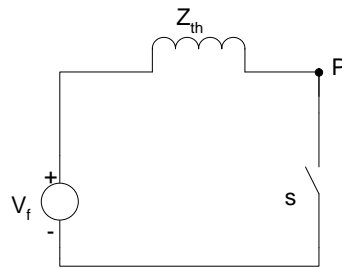
PADA TITIK GANGGUAN :

$$I_f'' = I_g'' + I_m''$$

$$= 0,69 - j2,71 - 0,69 - j5,37 = -j8,08 \text{ pu}$$

$$= -j8,08 \times 1312 = -j10600 \text{ A}$$

CONTOH : (METODE 2)

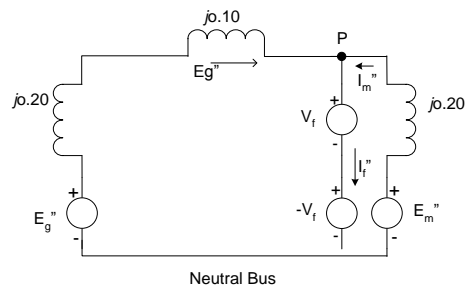
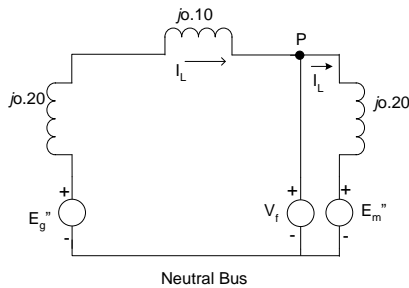


$$Z_{th} = \frac{j0,3 \times j0,2}{j0,3 + j0,2} = j0,12 \text{ pu}$$

$$V_f = 0,97 \angle 0^0 \text{ pu}$$

PADA TITIK GANGGUAN :

$$I_f'' = \frac{0,97 + j0}{j0,12} = -j8,08 \text{ pu}$$



ARUS GANGGUAN DARI GENERATOR :

$$-j8,08 \times \frac{j0,2}{j0,5} = -j3,23 \text{ pu}$$

ARUS GANGGUAN DARI MOTOR :

$$-j8,08 \times \frac{j0,3}{j0,5} = -j4,85 \text{ pu}$$

ARUS SEBELUM GANGGUAN HARUS DITAMBAHKAN PADA ARUS-ARUS GANGGUAN DIATAS UNTUK MEMPEROLEH TOTAL ARUS SUBTRANSIENT DARI MESIN

$$I_g'' = 0,69 + j0,52 - j3,23 = 0,69 - j2,71 \text{ pu}$$

$$= 1312(0,69 - j2,71) = 905 - j3550 \text{ A}$$

$$I_m'' = -0,69 - j0,52 - j4,85 = -0,69 - j5,37 \text{ pu}$$

$$= 1312(-0,69 - j5,37) = -905 - j7050 \text{ a}$$

$$I_f'' = j8,08 \text{ pu} = -j10600 \text{ A}$$

SIMULASI ANALISIS HUBUNG SINGKAT
PADA RANGKAIAN SISTEM TENAGA LISTRIK

DIAGRAM SEGARIS :

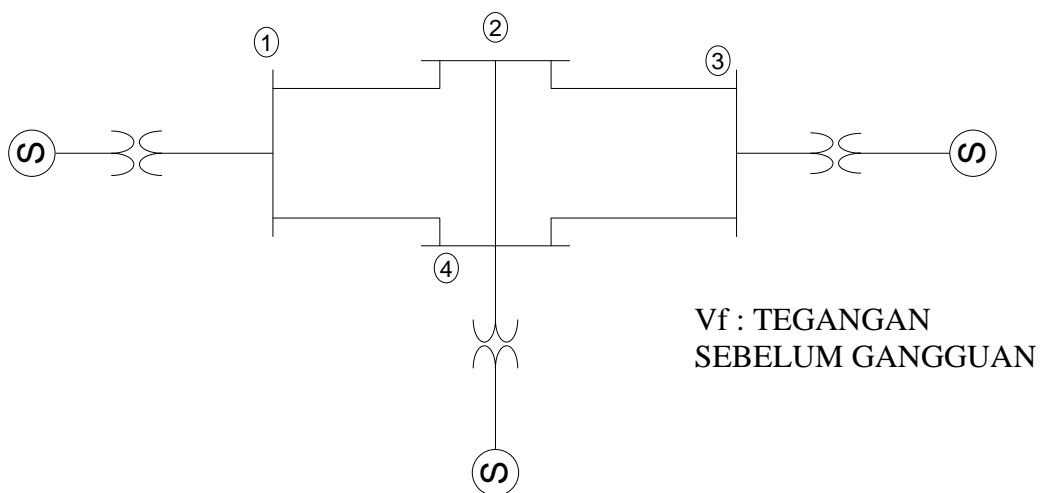


DIAGRAM IMPEDANSI

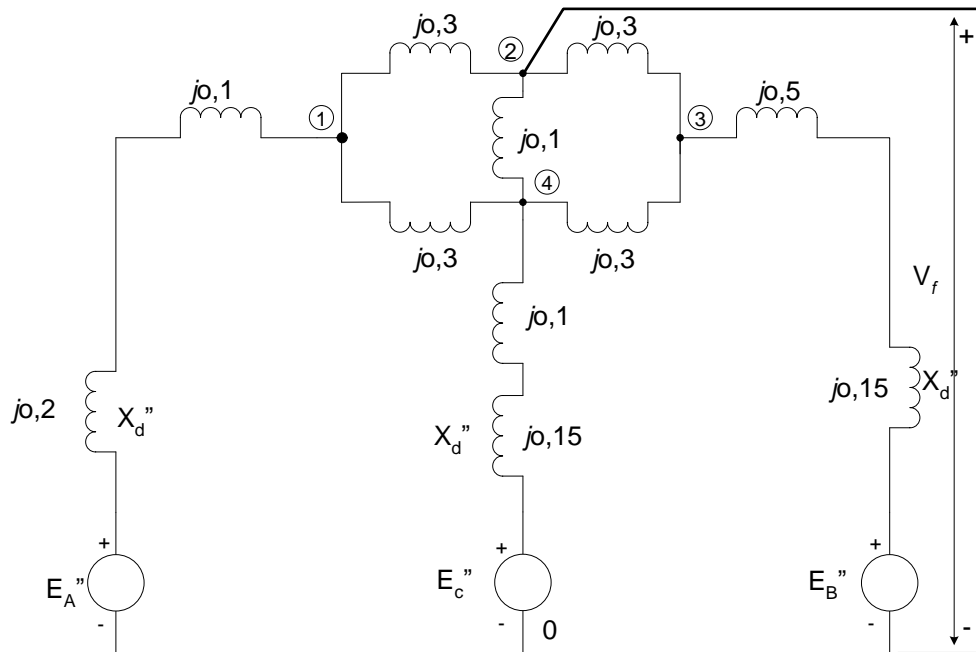
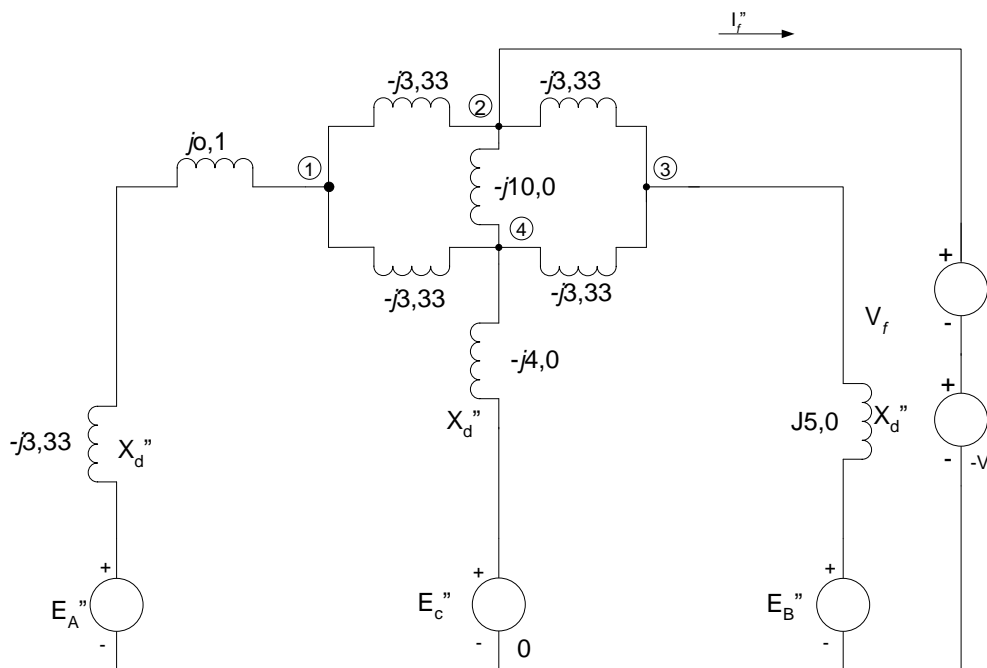


DIAGRAM ADMITANSI

I_f'' : ARUS HUBUNG SINGKAT



HUBUNG SINGKAT
PADA BUS 2

$$I = Y_{\text{BUS}} \cdot V$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -I_f'' \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10,0 & 3,33 & 0,0 & 3,33 \\ 3,33 & -16,67 & 3,33 & 10,0 \\ 0,0 & 3,33 & -11,67 & 3,33 \\ 3,33 & 10,0 & 3,33 & -20,67 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V1\Delta \\ -Vf \\ V3\Delta \\ V4\Delta \end{bmatrix}$$

$V = Y_{\text{BUS}}^{-1} I$
ATAU
$V = Z_{\text{BUS}} \cdot I$

$$\begin{bmatrix} V1\Delta \\ -Vf \\ V3\Delta \\ V4\Delta \end{bmatrix} = Z_{\text{BUS}} \begin{bmatrix} 0 \\ -I_f'' \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V1\Delta \\ -Vf \\ V3\Delta \\ V4\Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -I_f'' \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_f'' = \frac{Vf}{Z_{22}} : \text{ARUS HUBUNG SINGKAT DARI BUS 2}$$

PERUBAHAN TEGANGAN
PADA BUS 1, BUS 3 DAN BUS 4

$$V_1 \Delta = -I_f'' Z_{12} = \frac{-Z_{12}}{Z_{22}} V_f$$

$$V_3 \Delta = \frac{-Z_{32}}{Z_{22}} V_f \quad V_4 \Delta = \frac{-Z_{42}}{Z_{22}} V_f$$

(TOTAL) TEGANGAN
PADA TIAP-TIAP BUS
(SETELAH GANGGUAN)

$$V_1 = V_f + V_1 \Delta = V_f - I_f'' Z_{12}$$

$$V_2 = V_f - V_f = 0$$

$$V_3 = V_f + V_3 \Delta = V_f - I_f'' Z_{32}$$

$$V_4 = V_f + V_4 \Delta = V_f - I_f'' Z_{42}$$

TERJADI HUBUNG SINGKAT
PADA BUS k

$$I_f = \frac{V_f}{Z_{kk}}$$

ARUS HUBUNG SINGKAT
DARI BUS k

$$V_n = V_f - \frac{Z_{nk}}{Z_{kk}} V_f$$

TEGANGAN SETELAH GANGGUAN PADA BUS n

DENGAN MENGHITUNG INVERSE DARI Y_{BUS} , DIPEROLEH :

$$Z_{BUS} = j \begin{bmatrix} 0.1502 & 0.0807 & 0.0431 & 0.0702 \\ 0.0807 & 0.1471 & 0.0692 & 0.0953 \\ 0.0431 & 0.0692 & 0.1226 & 0.0602 \\ 0.0702 & 0.0953 & 0.0602 & 0.1155 \end{bmatrix}$$

BIASANYA V_f DIANGGAP : $1.0 \angle 0^\circ$ p.u. (ARUS SEBELUM GANGGUAN DIABAIKAN)

$$I_f'' = \frac{I}{j0,1471} = -j6,80 \text{ per unit}$$

$$V_1 = 1 - \frac{j0,0807}{j0,1471} = 1 - 0,549 = 0,451 \text{ per unit}$$

$$V_3 = 1 - \frac{j0,0692}{j0,1471} = 1 - 0,470 = 0,530 \text{ per unit}$$

$$V_4 = 1 - \frac{j0,0953}{j0,1471} = 1 - 0,648 = 0,352 \text{ per unit}$$

ARUS PADA SALURAN 1-4 :

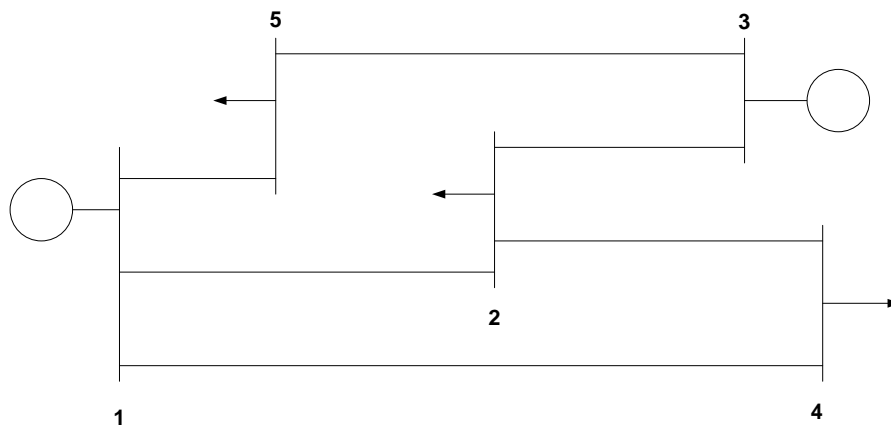
$$I''_{1-4} = \frac{V_{1-4}}{j0,3} = \frac{0,451 - 0,352}{j0,3} = \frac{0,099}{j0,3}$$

ARUS DARI GENERATOR A:

$$E'' = 1 \text{ pu.}$$

$$I''_A = \frac{E'' - V_1}{j0,3} = \frac{0,549}{j0,3} \\ = -j1,83 \text{ per unit}$$

CONTOH SOAL :



SALURAN	R	X(pu)
1-2	0.0	0.40
1-4	0.0	0.60
1-5	0.0	0.20
2-3	0.0	0.20
2-4	0.0	0.40
3-5	0.0	0.20

GENERATOR PADA

BUS 1 : 75 MVA, $x_d'' = 0,15$ pu

BUS 3 : 125 MVA, $x_d'' = 0,15$

TERJADI HUBUNG SINGKAT TIGA PHASA PADA BUS 2

ARUS SEBELUM GANGGUAN DIABAIKAN DAN SEMUA TEGANGAN DIANGGAP 1,0 pu SEBELUM HUBUNG SINGKAT TERJADI GUNAKAN BASE 100 MVA

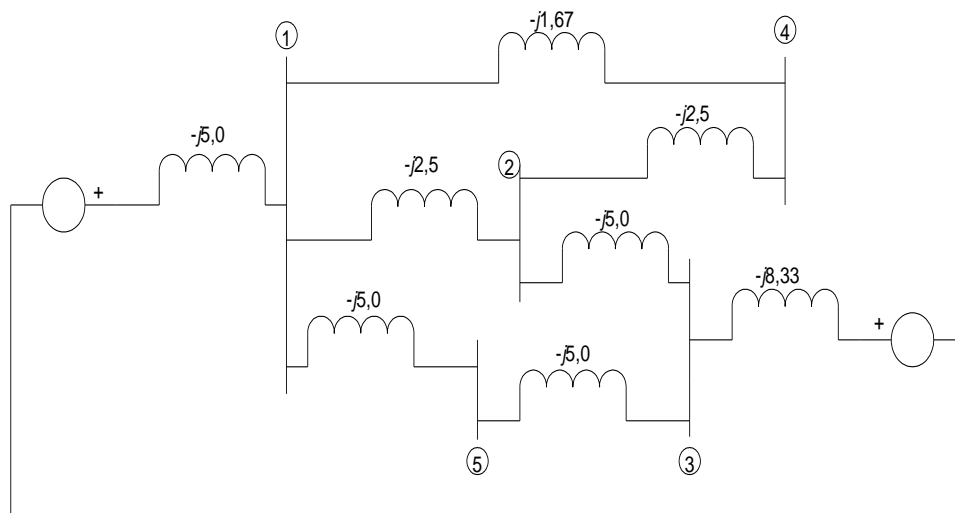
GENERATOR PADA BUS 1 :

$$X_d'' = 0,15 \times \frac{100}{75} = 0,20 \text{ pu}$$

GENERATOR PADA BUS 3 :

$$X_d'' = 0,15 \times \frac{100}{125} = 0,12 \text{ pu}$$

DIAGRAM ADMITANSI



$$Y_{BUS} = j \begin{bmatrix} -14.17 & 2.5 & 0.0 & 1.67 & 5.0 \\ 2.5 & -10.0 & 5.0 & 2.5 & 0.0 \\ 0.0 & 5.0 & -18.33 & 0.0 & 5.0 \\ 1.67 & 2.5 & 0.0 & -4.17 & 0.0 \\ 5.0 & 0.0 & 5.0 & 0.0 & -10.0 \end{bmatrix}$$

$$Z_{BUS=j} = \begin{bmatrix} 0.1258 & 0.0780 & 0.0445 & 0.0972 & 0.0852 \\ 0.0780 & 0.1928 & 0.0732 & 0.1468 & 0.0756 \\ 0.0445 & 0.0732 & 0.0933 & 0.0617 & 0.0689 \\ 0.0972 & 0.1468 & 0.0617 & 0.3668 & 0.0794 \\ 0.0852 & 0.0756 & 0.0689 & 0.0794 & 0.1770 \end{bmatrix}$$

ARUS HUBUNG SINGKAT DARI BUS 2 :

$$I'' = \frac{1,0}{j0,1928} = -j5,187 \text{ per unit}$$

TEGANGAN SETELAH GANGGUAN :

$$V_1 = 1,0 - (-j5,187)(j0,0780) = 0,595 \text{ per unit}$$

$$V_3 = 1,0 - (-j5,187)(j0,0732) = 0,620 \text{ per unit}$$

$$V_4 = 1,0 - (-j5,187)(j0,1468) = 0,239 \text{ per unit}$$

ARUS YANG MENUJU BUS 2, DARI

$$\text{Bus 1: } 0,595 (-j2,5) = -j1,488$$

$$\text{Bus 3 : } 0,620(-j5,0) = -j3,100$$

$$\text{Bus 4: } 0,239(-j2,5) = -j0,598$$

$$-j5,186 \text{ per unit}$$

PENENTUAN KAPASITAS/RATING

DARI PEMUTUS (CIRCUIT BREAKER)

KAPASITAS PEMUTUSAN DARI PEMUTUS(CB) BIASANYA DITENTUKAN DENGAN MENGGUNAKAN REAKTANSI SUB-PERALIHAN UNTUK GENERATOR DAN REAKTANSI PERALIHAN UNTUK MOTOR SINKRON. PENGARUH DARI MOTOR INDUKSI DIABAIKAN

DALAM PERHITUNGAN ARUS GANGGUAN, YANG DITENTUKAN ADALAH HARGA EFEKTIF ARUS HUBUNG SINGKAT AWAL SIMETRIS (INITIAL SIMMETRICAL RMS CURRENT) DENGAN MENGABAIKAN KOMPONEN DC BESAR ARUS HUBUNG SINGKAT DENGAN SESUNGGUHNYA PADA SAAT KONTAK-KONTAK PEMUTUS(CB) MEMBUKA MUNGKIN LEBIH BESAR DARI ARUS HUBUNG SINGKAT SIMETRIS YANG DIPEROLEH DALAM PERHITUNGAN AKIBAT ADANYA KOMPONEN DC

UNTUK MEMPERHITUNGAN PENGARUH KOMPONEN DC, HARGA EFEKTIF ARUS HUBUNG SINGKAT AWAL SIMETRIS DIKALIKAN DENGAN FAKTOR PENGALI YANG BESARNYA TERGANTUNG PADA KECEPATAN PEMUTUS UNTUK MEMBUKA KONTAK-KONTAKNYA.

INTERRUPTING DUTY RATING DARI SUATU PEMUTUS (CB) DITENTUKAN SEBAGAI BERIKUT:

$$S_i = \sqrt{3} (V_{pf}) (I'') \xi \times 10^{-6} \text{ MVA}$$

DIMANA:

V_{pf} : TEGANGAN (L-L) SEBELUM GANGGUAN PADA TITIK GANGGUAN (VOLT)

I'' : HARGA EFEKTIF ARUS HUBUNG SINGKAT AWAL SIMETRIS (AMPER)

ξ : FAKTOR PENGALI KOMPONEN DC

KEMAMPUAN SUATU PEMUTUS UNTUK MENGATASI AKIBAT DARI MENGALIRNYA ARUS HUBUNG SINGKAT (MOMENTARY DUTY/RATING) DINYATAKAN SEBAGAI BERIKUT :

$$S_i = \sqrt{3} (V_{pf}) (I'') k \times 10^{-6} \text{ MVA}$$

UNTUK PEMUTUS MINYAK (OIL C.B.) DENGAN TEGANGAN 115 KV ATAU LEBIH. DIGUNAKAN $k = 1,6$.

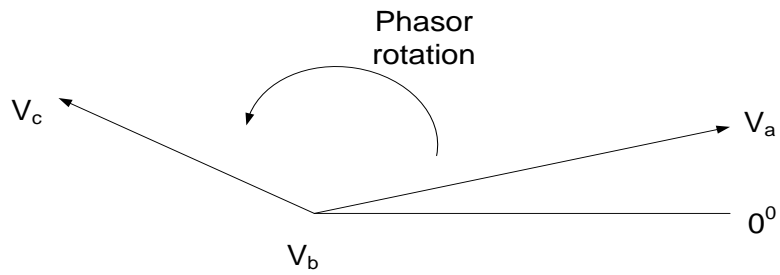
DI AMERIKA, RATING DARI PEMUTUS DITENTUKAN DENGAN STANDARD ANSI, BERDASARKAN PADA ARUS HUBUNG SINGKAT

SIMETRIS (TIDAK SIMETRIS/KOMPONEN DCDIPERHITUNGKAN) YANG DITENTUKAN DENGAN MENGGUNAKAN BESARAN-BESARAN

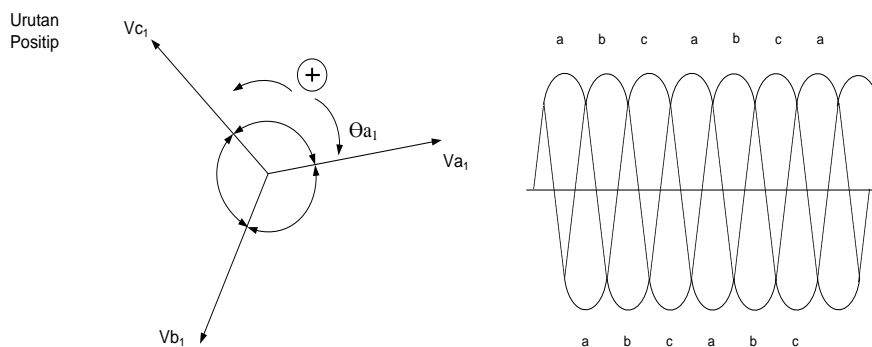
- TEGANGAN NOMINAL (NOMINAL VOLTAGE)
- TEGANGAN KERJA MAXIMUM (RATED MAXIMUM VOLT)
- FAKTOR DAERAH TEGANGAN KERJA K (RATED VOLTAGE RANGE FACTOR K)
- ARUS KERJA KONTINU (RATED CONTINUOUS CURRENT)
- ARUS KERJA HUBUNG SINGKAT (RATED SHORT CIRCUIT CURRENT)

KOMPONEN SIMETRI

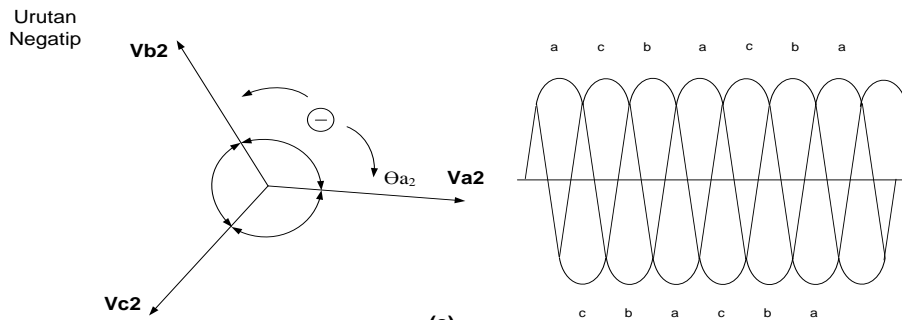
PHASOR TEGANGAN 3 PHASA YANG TAK SEIMBANG



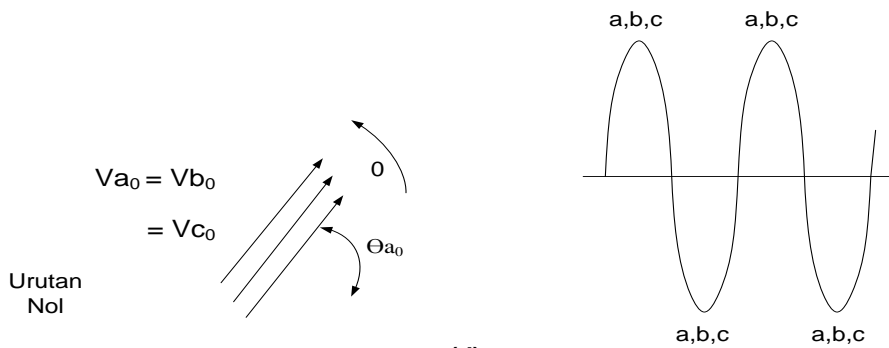
(a)



(b)



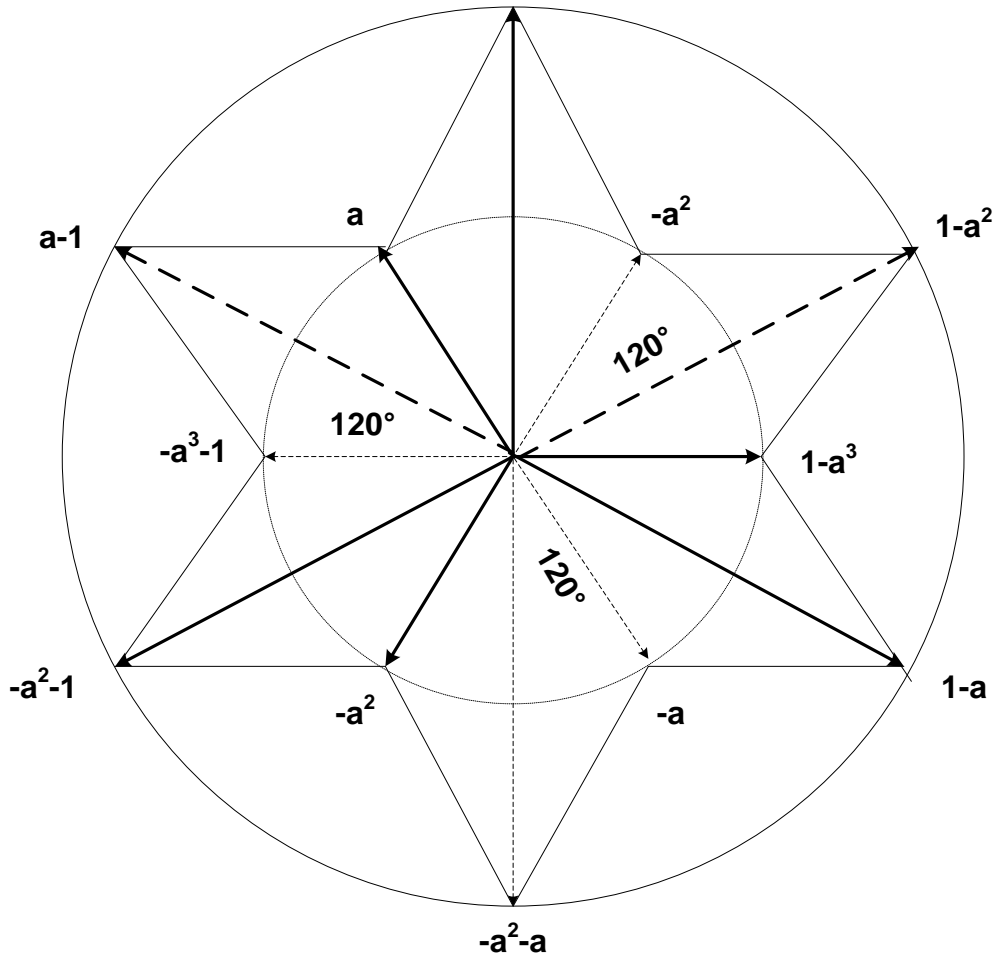
(c)



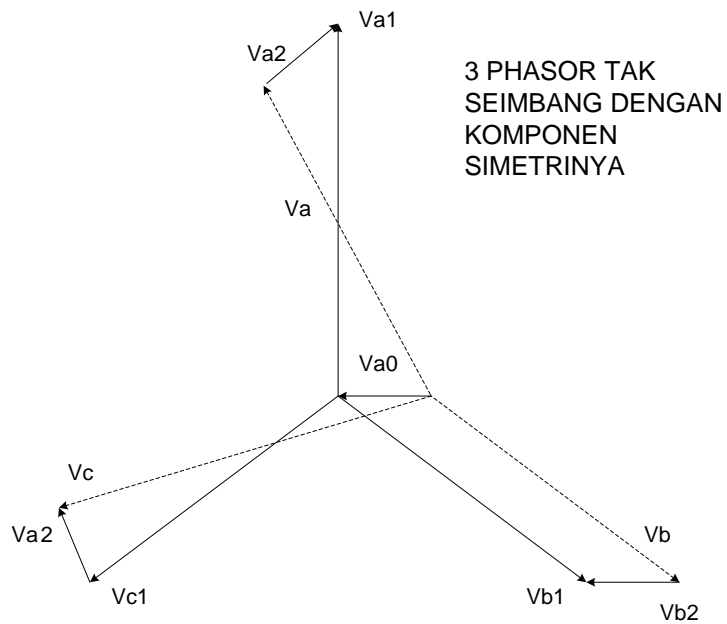
(d)

OPERATOR “a”

Power or Function	Polar Form	Rectangular Form
A	$1 \angle 120^0$	$-0,5+j0,866$
a^2	$1 \angle 240^0 = 1 \angle 120^0$	$-0,5-j0,866$
a^3	$1 \angle 360^0 = 1 \angle 0^0$	$1,0+j0,0$
a^4	$1 \angle 120^0$	$-0,5+j0,866$
$1+a = -a^2$	$1 \angle 60^0$	$0,5+j0,866$
$1-a$	$\sqrt{3} \angle -30^0$	$1,5-j0,866$
$1-a^2 = -a$	$1 \angle -60^0$	$0,5-j0,866$
$1- a^2$	$\sqrt{3} \angle 30^0$	$1,5+j0,866$
$a-1$	$\sqrt{3} \angle 150^0$	$-1,5+j0,866$
$a+ a^2$	$1 \angle 180^0$	$-1,0+j0,0$
$a- a^2$	$\sqrt{3} \angle 90^0$	$0,0+j1,732$
a^2-a	$\sqrt{3} \angle -90^0$	$0,0-j1,732$
a^2	$\sqrt{3} \angle -150^0$	$-1,5-j0,866$
$1+a+ a^2$	$0 \angle 0^0$	$0,0+j0,0$



PENYELESAIAN SISTEM TIGA PHASA YANG TAK SEIMBANG



KARENA SETIAP FASOR YANG TIDAK SEIMBANG MERUPAKAN PENJUMLAHAN VEKTOR DARI KOMPONEN-KOMPONENNYA, MAKA FASOR-FASOR ASLINYA DAPAT DINYATAKAN DALAM KOMPONEN-KOMPONENNYA SEBAGAI BERIKUT :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2}$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2}$$

DENGAN MEMASUKKAN OPERATOR a PADA PERSAMAAN DI ATAS DIDAPAT :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2}$$

$$V_c = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2}$$

ATAU DALAM BENTUK MATRIK:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

UNTUK MEMPERMUDAH TULISAN, BENTUK MATRIK DI ATAS DAPAT DITULISKAN DENGAN NOTASI-NOTSINYA SAJA.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

MAKA DAPAT DIPEROLEH SECARA MUDAH

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

UNTUK TEGANGAN DAN ARUS :

$$V_{abc} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad V_{012} = \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{b1} \\ V_{c2} \end{bmatrix}$$

$$I_{abc} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad I_{012} = \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{b1} \\ I_{c2} \end{bmatrix}$$

SECARA UMUM DAPAT DITULIS :

$$\boxed{V_{abc} = A V_{012}} \quad \longrightarrow \quad \boxed{V_{012} = A^{-1} V_{012}}$$

$$\boxed{I_{abc} = A I_{012}} \quad \longrightarrow \quad \boxed{I_{012} = A^{-1} I_{abc}}$$

UNTUK ARUS BERLAKU:

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

$$I_c = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2}$$

DALAM SISTEM 3 PHASA, JUMLAH ARUS SALURAN SAMA DENGAN ARUS I_n YANG MENGALIR MELALUI NETRAL SEBAGAI JALAN BALIK.

JADI,

$$I_a + I_b + I_c = I_n$$

DARI PERSAMAAN (5.27) DAN PERSAMAAN (5.29) DIPEROLEH,

$$I_n = 3I_{a0}$$

SUATU BEBAN ATAU BELITAN TRANSFORMATOR YANG TERHUBUNG DELTA, DIMANA TIDAK TERDAPAT LINTASAN NETRAL ARUS TIDAK MENGANDUNG KOMPONEN URUTAN NOL ATAU

SECARA UMUM, DENGAN MENGGUNAKAN MATERI-MATERI KOMPONEN SIMETRI :

DAYA PADA SISTEM TIGA PHASA TAK SEIMBANG

$$S = P + JQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$

(JUMLAH DAYA PADA TIAP-TIAP PHASA)

DIMANA V_a , V_b , DAN V_c ADALAH TEGANGAN PHASA KE NETRAL PADA TERMINAL, DAN

DAN I_a , I_b , DAN I_c ADALAH ARUS YANG MENGALIR KE SISTEM RANGKAIAN PADA KETIGA SALURANNYA.

DALAM BENTUK MATRIK,

$$S = \begin{bmatrix} V_a & V_b & V_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^* = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^*$$

DENGAN NOTASI KOMPONEN SIMETRI :

$$\begin{aligned} S &= V_{abc}^T \cdot I_{abc}^* \\ &= [AV_{012}]^T [AI_{012}]^* \\ &= V_{012}^T A^T A^* I_{012}^* \end{aligned}$$

DIMANA

$$V = \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad I = \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}$$

DENGAN MEMPERHATIKAN BAHWA $A^T = A$ SERTA a DAN a^2 MERUPAKAN SEKAWAN, DIPEROLEH :

$$S = \begin{bmatrix} V_{a0} & V_{a1} & V_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}^*$$

KARENA $A^T \cdot A^* = 3U$, MAKA

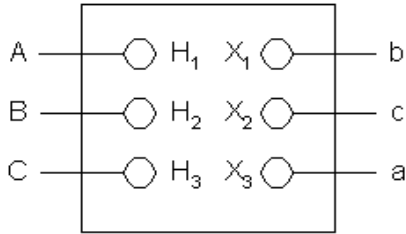
$$S = 3 \begin{bmatrix} V_{a0} & V_{a1} & V_{a2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}^*$$

JADI DAYA KOMPLEKS ADALAH :

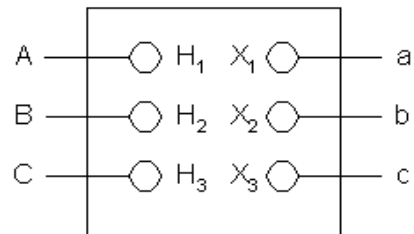
$$V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* = 3V_{a0} I_{a0}^* + 3V_{a1} I_{a1}^* + 3V_{a2} I_{a2}^*$$

PERGESERAN PHASA PADA TRAFU HUBUNGAN $\Delta - Y$

STANDARD PEMBERIAN NAMA TERMINAL



(a) V_{A1} LEADS V_{b1} By 30°

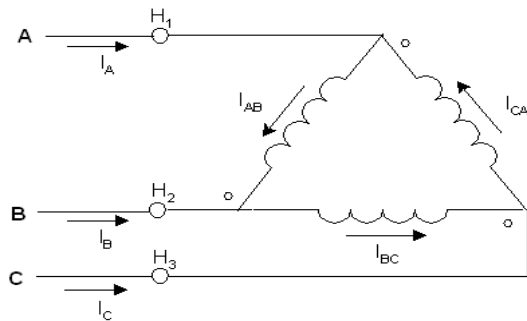


(b) V_{A1} LAGS V_{a1} By 30°

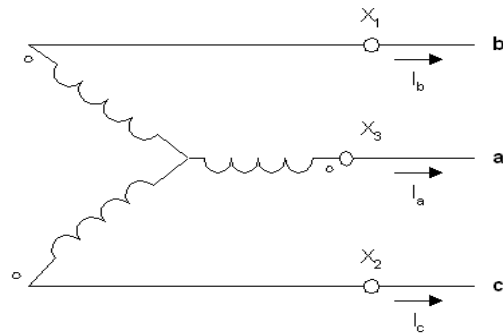


DIGUNAKAN DALAM KULIAH INI

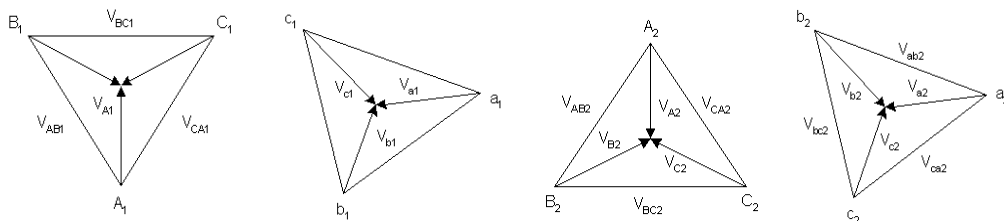
SISI T.T



SISI T.R



(a) Wiring Diagram



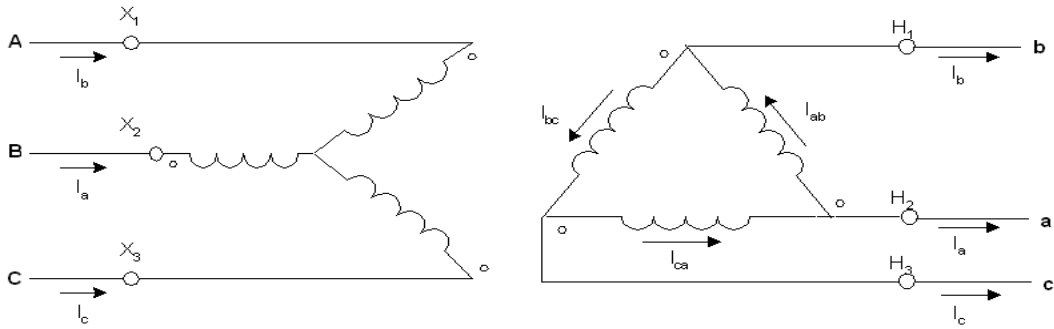
Positif Sequence

Negatif Sequence

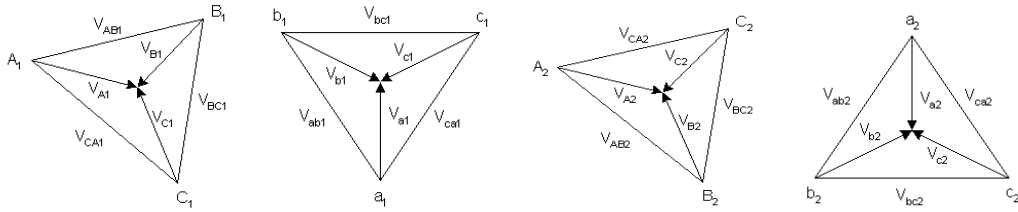
(b) Voltage Component

SISI T.T

SISI T.R



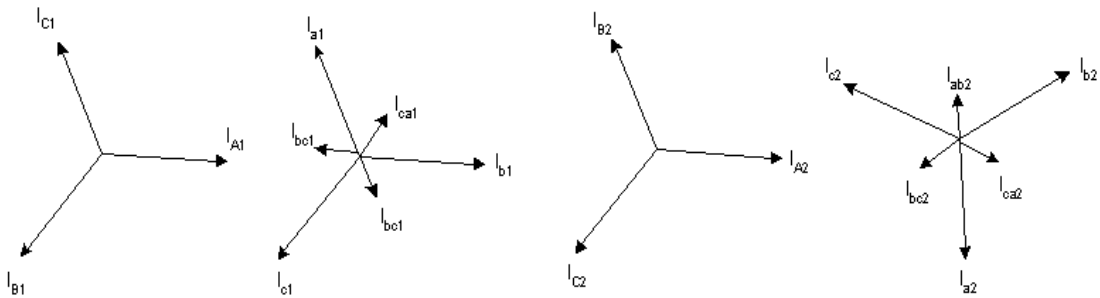
(a) Wiring Diagram



Positif Sequence

Negatif Sequence

(b) Voltage Components



Positive-sequence Component

Negative-sequence Component

AKIBAT PERGESERAN PHASA TRAFU HUBUNG $\Delta - Y$, MAKA

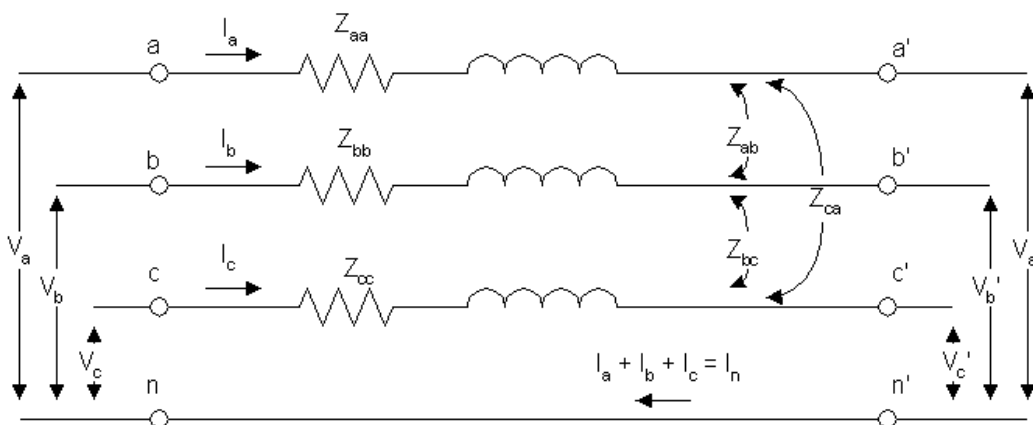
$$\begin{aligned} V_{a1} &= + j V_{A1} \\ V_{a2} &= - j V_{A2} \\ I_{a1} &= + j I_{A1} \\ I_{a2} &= - j I_{A2} \end{aligned}$$

DALAM PER UNIT

DIMANA TEGANGAN DAN ARUS DINYATAKAN DALAM PER UNIT

IMPEDANSI URUTAN SALURAN TRANSMISI

a/. SALURAN TRANSMISI “UNTRANSPOSED”



$$[V_{abc}] = [Z_{abc}][I_{abc}]$$

DIMANA

$$[Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ca} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{cb} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix}; \quad V_{abc} = \begin{bmatrix} V_{a-a'} \\ V_{b-b'} \\ V_{c-c'} \end{bmatrix}; \quad I_{abc} = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

SELF – IMPEDANCE

$$Z_{aa} \neq Z_{bb} \neq Z_{cc}$$

MUTUAL – IMPEDANCE

$$Z_{ab} \neq Z_{bc} \neq Z_{ca}$$

DENGAN MENGGUNAKAN MATRIX TRANSFORMASI [A], DIPEROLEH :

$$[A]^{-1} [V_{abc}] = [A]^{-1} [Z_{abc}] [A] [I_{012}]$$

$$[V_{012}] = [Z_{012}] [I_{012}]$$

SEHINGGA,

$$\boxed{[Z_{012}] = [A]^{-1} [Z_{abc}] [A]}$$

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} (Z_{s0} + 2Z_{m0}) & (Z_{s2} - 2Z_{m2}) & (Z_{s1} - Z_{m1}) \\ (Z_{s1} - Z_{m1}) & (Z_{s0} - Z_{m0}) & (Z_{s2} + 2Z_{m2}) \\ (Z_{s2} - Z_{m2}) & (Z_{s0} + Z_{m1}) & (Z_{s0} - Z_{m0}) \end{bmatrix}$$

DIMANA,

Z_{a0} = “SELF IMPEDANCE” URUTAN NOL

$$= \frac{1}{3} (Z_{aa} + Z_{bb} + Z_{cc})$$

Z_{a1} = “SELF IMPEDANCE” URUTAN POSITIF

$$= \frac{1}{3} (Z_{aa} + Z_{bb} + a^2 Z_{cc})$$

Z_{a2} = “SELF IMPEDANCE” URUTAN NEGATIF

$$= \frac{1}{3} (Z_{aa} + a^2 Z_{bb} + Z_{cc})$$

Z_{m0} = “MUTUAL IMPEDANCE” URUTAN NOL

$$= \frac{1}{3} (Z_{bc} + Z_{ca} + Z_{ab})$$

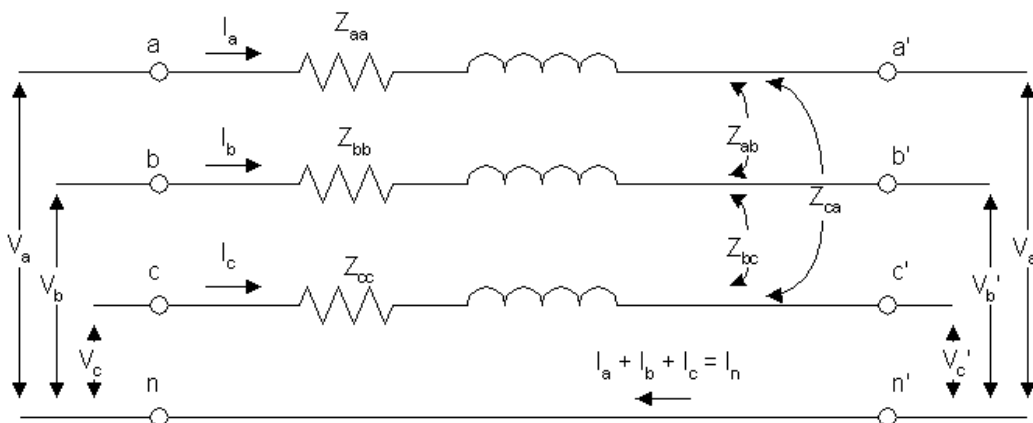
Z_{m1} = “MUTUAL IMPEDANCE” URUTAN POSITIF

$$= \frac{1}{3} (Z_{bc} + aZ_{ca} + a^2 Z_{ab})$$

Z_{m2} = “MUTUAL IMPEDANCE” URUTAN NEGATIF

$$= \frac{1}{3} (Z_{bc} + a^2 Z_{ca} + aZ_{ab})$$

b/. SALURAN TRANSMISI “TRANSPOSED”



$$[V_{abc}] = [Z_{abc}][I_{abc}]$$

DIMANA,

$$[Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_s & Z_m & Z_m \\ Z_m & Z_s & Z_m \\ Z_m & Z_m & Z_s \end{bmatrix}$$

DENGAN CARA YANG SAMA, DIPEROLEH :

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix}$$

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} (Z_s + 2Z_m) & 0 & 0 \\ 0 & (Z_s - Z_m) & 0 \\ 0 & 0 & (Z_s - Z_m) \end{bmatrix}$$

DIMANA,

Z_0 = IMPEDANSI URUTAN NOL

$$= Z_\infty = Z_s + 2Z_m$$

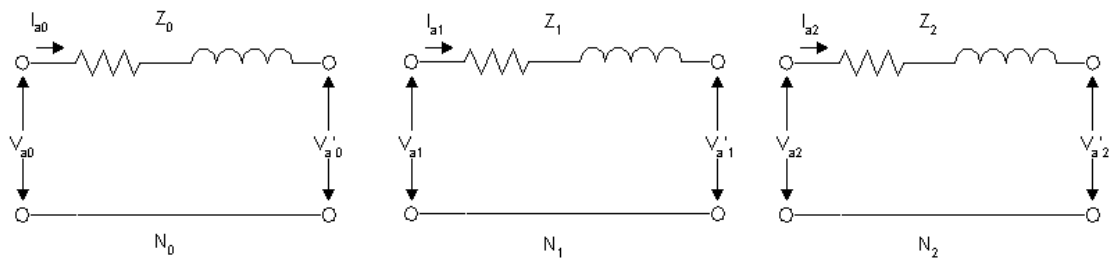
Z_1 = IMPEDANSI URUTAN POSITIF

$$= Z_{11} = Z_s - Z_m$$

Z_2 = IMPEDANSI URUTAN NEGATIF

$$= Z_{22} = Z_s - Z_m$$

TIDAK TERDAPAT “MUTUAL COOPLING” ANTARA IMPEDANSI URUTAN NOL, POSITIF, DAN NEGATIF.



IMPEDANSI URUTAN MESIN SINKRON

PADA UMUMNYA, IMPEDANSI URUTAN POSITIF, NEGATIF, DAN NOL DARI MESIN SINKRON MEMPUNYAI HARGA YANG BERLAINAN.

IMPEDANSI URUTAN POSITIF :

X_d'' = REAKTANSI SUB-PERALIHAN

ATAU, X_d' = REAKTANSI PERALIHAN

ATAU, X_d = REAKTANSI SINKRON

IMPEDANSI URUTAN NEGATIF :

$$Z_2 = j X_2 = j \left(\frac{X_d + X_q''}{2} \right)$$

PADA MESIN SINKRON DENGAN ROTOR BULAT, REAKTANSI SUB-PERALIHAN SAMA DENGAN REAKTANSI URUTAN NEGATIF.

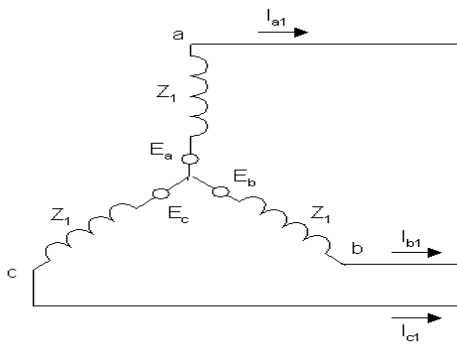
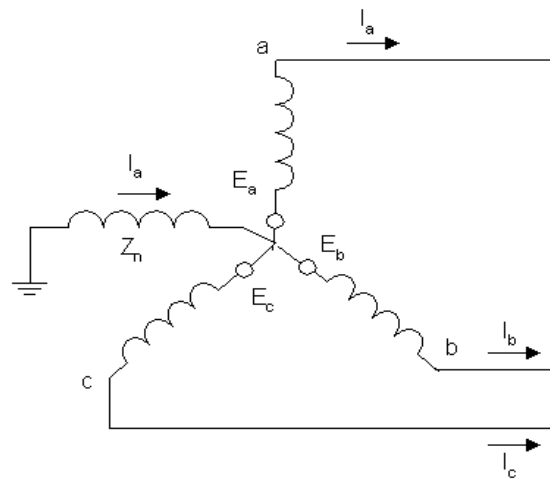
IMPEDANSI URUTAN NOL :

MEMPUNYAI HARGA YANG SANGAT BERVARIASI, YANG TERGANTUNG PADA “PITCH” DARI KUMPARAN JANGKAR.

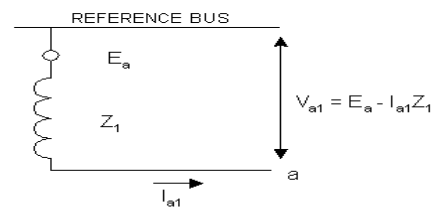
HARGANYA JAUH LEBIH KECIL DARI IMPEDANSI URUTAN POSITIF DAN NEGATIF.

RANGKAIAN URUTAN DARI GENERATOR

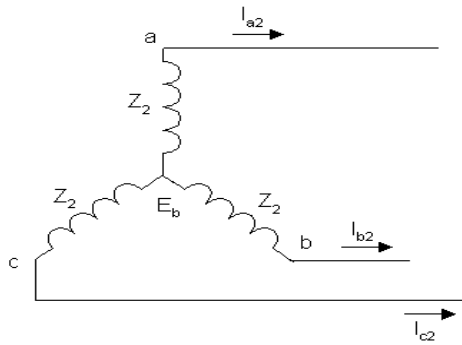
DIAGRAM RANGKAIAN
GENERATOR



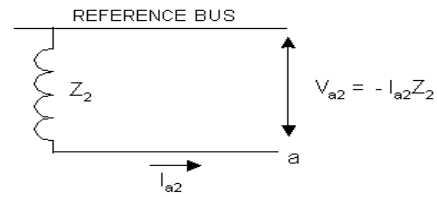
(a) RANGKAIAN URUTAN POSITIF 3 PHASA



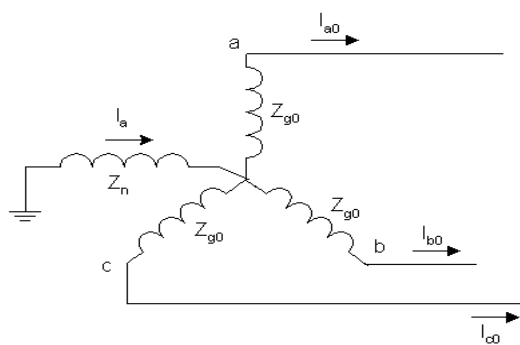
(b) RANGKAIAN URUTAN POSITIF 1 PHASA



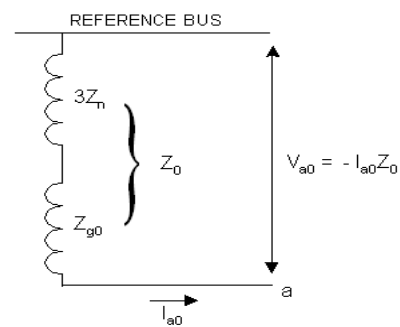
(c) RANGKAIAN URUTAN NEGATIF 3 PHASA



(d) RANGKAIAN URUTAN NEGATIF 3 PHASA



(e) RANGKAIAN URUTAN NOL 3 PHASA



(f) RANGKAIAN URUTAN NOL 1 PHASA

IMPEDANSI URUTAN DARI TRANSFORMATOR

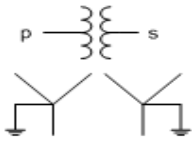
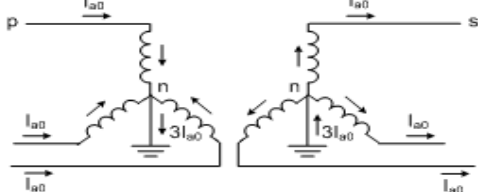
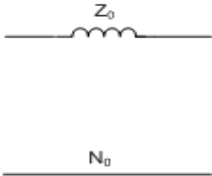
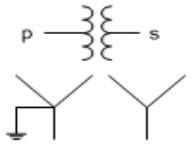
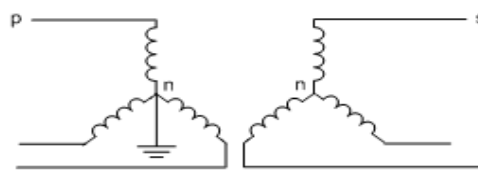
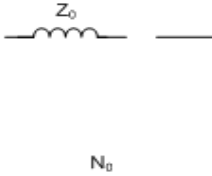
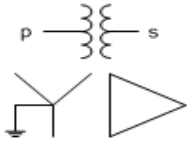
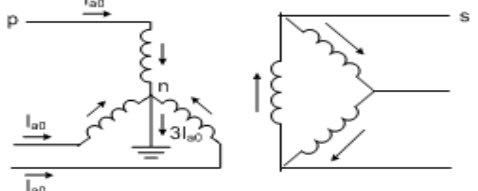
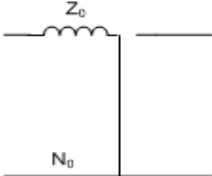
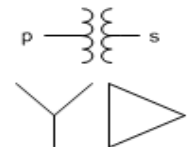
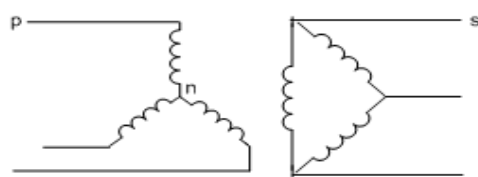
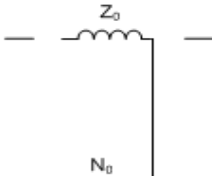
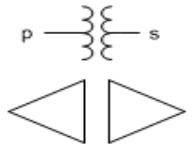
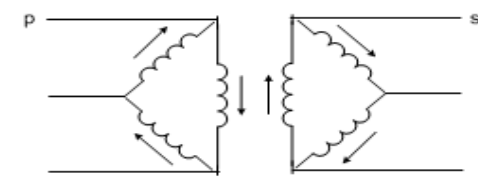
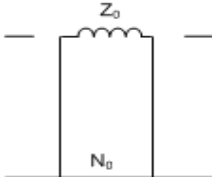
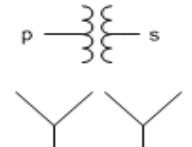
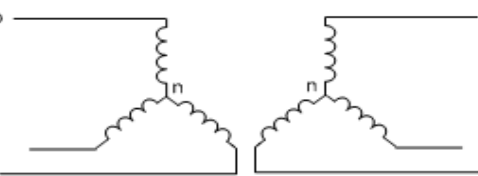
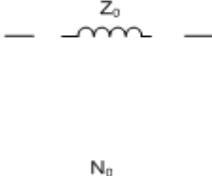
IMPEDANSI URUTAN POSITIF DAN NEGATIF DARI TRANSFORMATOR SAMA.

IMPEDANSI URUTAN NOL SEDIKIT BERBEDA (BESARNYA) DARI IMPEDANSI URUTAN POSITIF DAN NEGATIF, BIASANYA DIANGGAP SAMA DENGAN IMPEDANSI URUTAN POSITIF DAN NEGATIF.

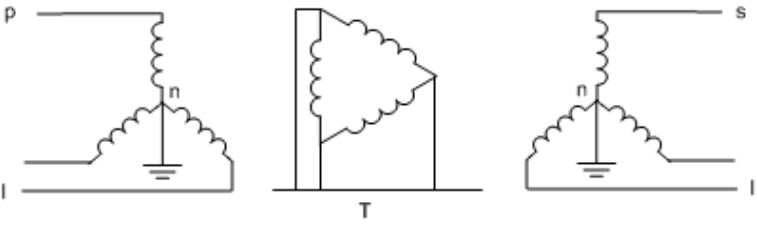
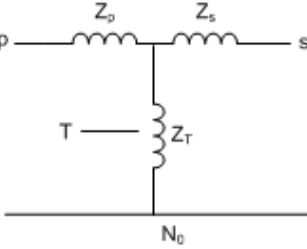
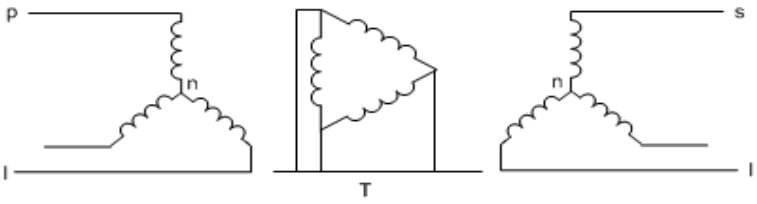
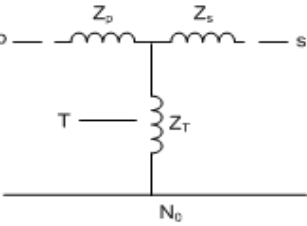
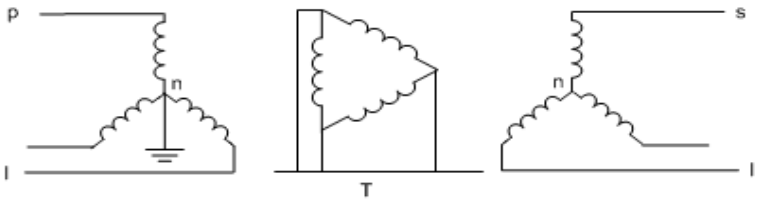
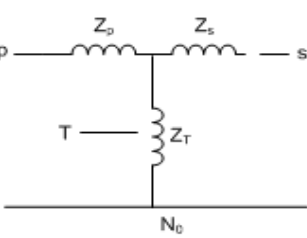
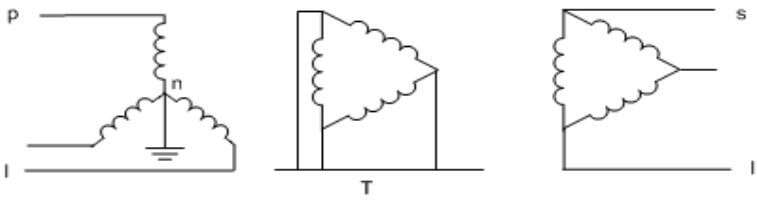
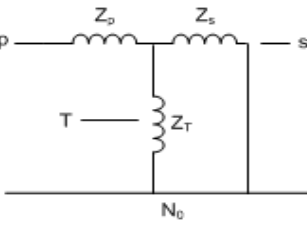
$$\boxed{[V_{abc}] = [Z_{abc}][I_{abc}]}$$

ADA/TIDAKNYA ALIRAN ARUS URUTAN NOL TERGANTUNG PADA HUBUNGAN BELITAN TRANSFORMATOR SEPERTI TERLIHAT PADA TABEL.

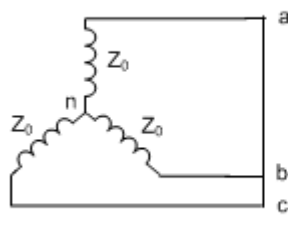
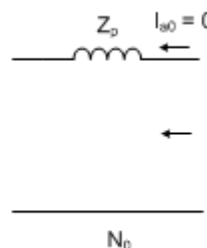
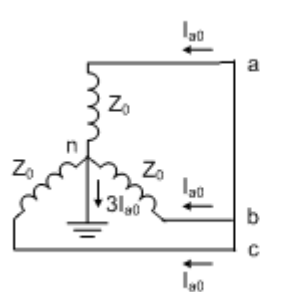
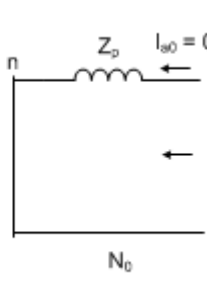
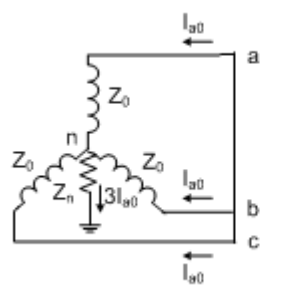
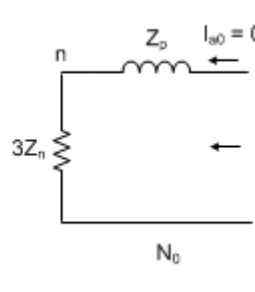
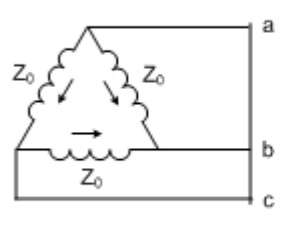
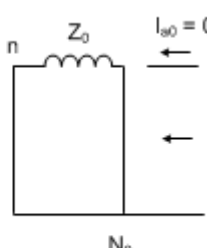
**RANGKAIAN URUTAN NOL
DARI TRAF0 3 PHASA DUA BELITAN**

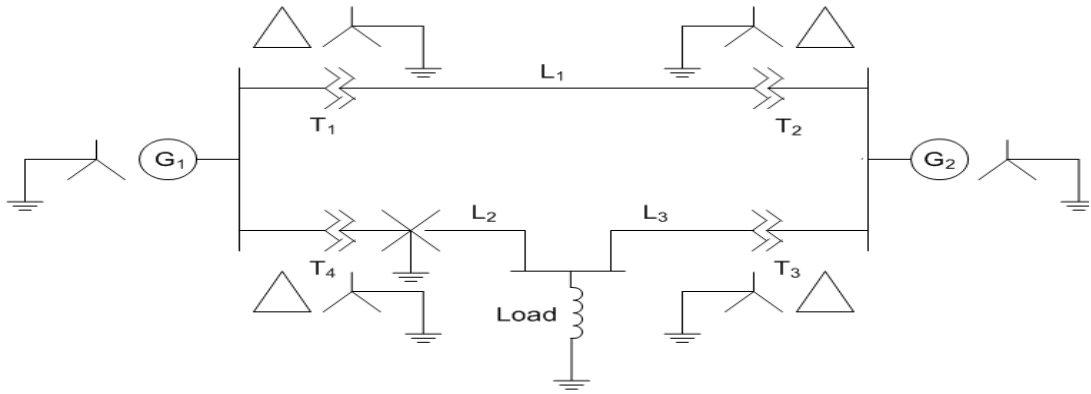
Symbols	Transformator Connection Diagram	Zero Sequence network equivalent
		
		
		
		
		
		

**RANGKAIAN URUTAN NOL
DARI TRAF0 3 PHASA TIGA BELITAN**

Transformator Connection diagram	Zero-Sequence network equivalent
	
	
	
	

RANGKAIAN URUTAN NOL DARI BEBAN

Load Connection Diagram	Zero-Sequence network equivalent
	
	
	
	



GENERATOR G_1 $X_+ = 0.2 \text{ p.u}$

$X_- = 0.12 \text{ p.u}$

$X_0 = 0.06 \text{ p.u}$

GENERATOR G_2 $X_+ = 0.33 \text{ p.u}$

$X_- = 0.22 \text{ p.u}$

$X_0 = 0.066 \text{ p.u}$

TRANSFORMER T_1 : $X_+ = X_- = X_0 = 0.2 \text{ p.u}$

T_2 : $X_+ = X_- = X_0 = 0.225 \text{ p.u}$

T_3 : $X_+ = X_- = X_0 = 0.27 \text{ p.u}$

T_4 : $X_+ = X_- = X_0 = 0.16 \text{ p.u}$

LINE L_1 : $X_+ = X_- = 0.14 \text{ p.u}$

$X_0 = 0.3 \text{ p.u}$

LINE L_2 : $X_+ = X_- = 0.2 \text{ p.u}$

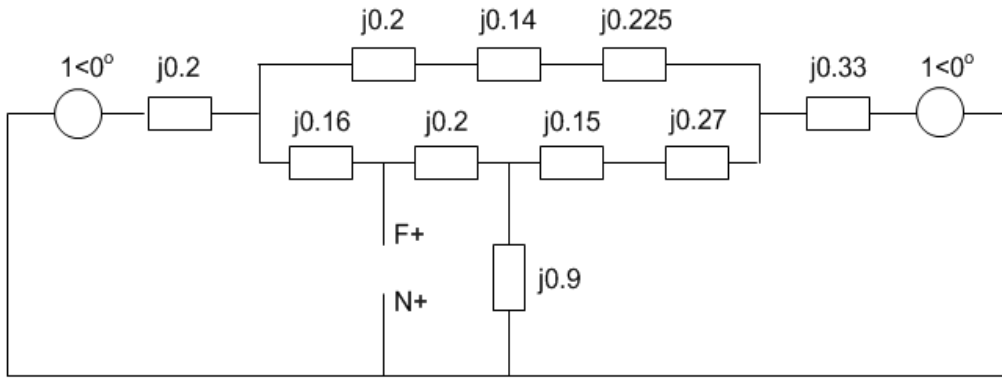
$X_0 = 0.4 \text{ p.u}$

LINE L_3 : $X_+ = X_- = 0.15 \text{ p.u}$

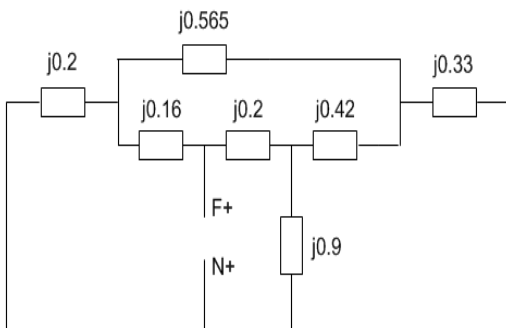
$X_0 = 0.2 \text{ p.u}$

LOAD : $X_+ = X_- = 0.9 \text{ p.u}$

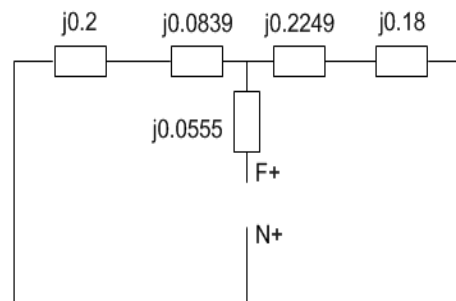
$X_0 = 1.2 \text{ p.u}$



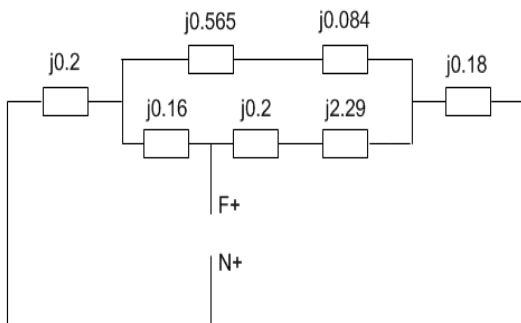
RANGKAIAN URUTAN POSITIF



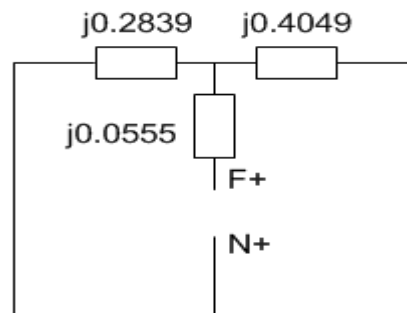
Step 1



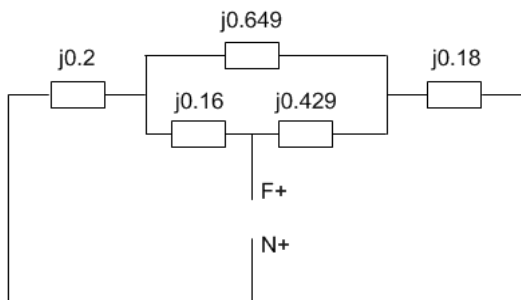
Step 4



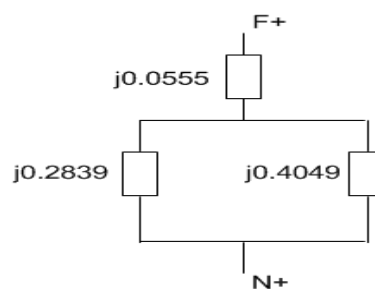
Step 2



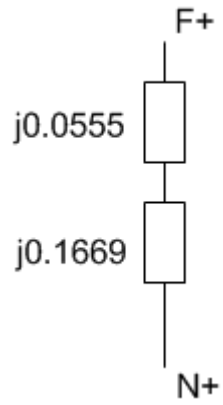
Step 5



Step 3

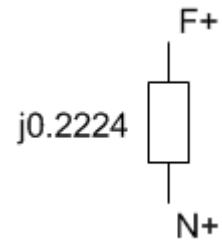


Step 6

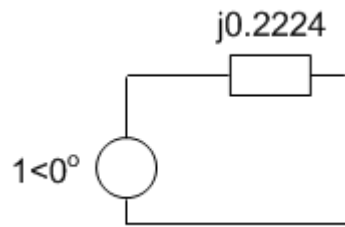


Step 7

REAKTANSI PENGGANTI URUTAN POSITIF

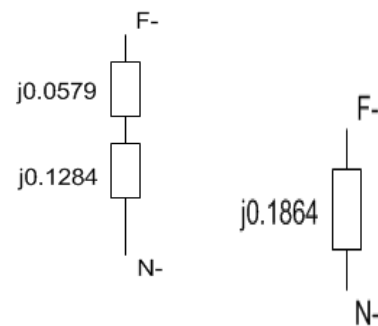
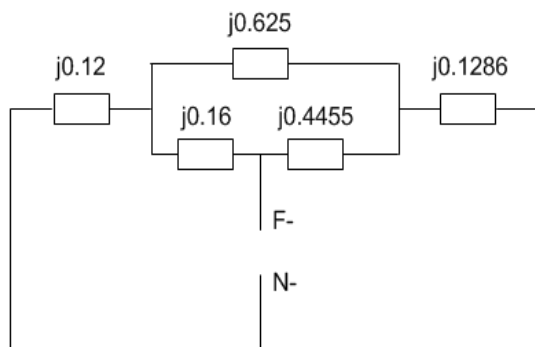
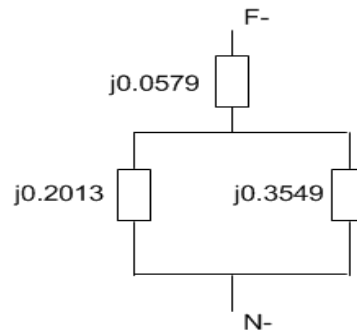
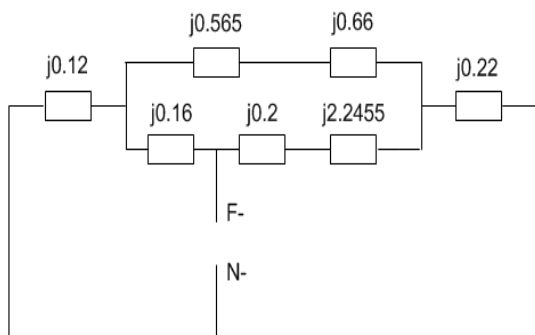
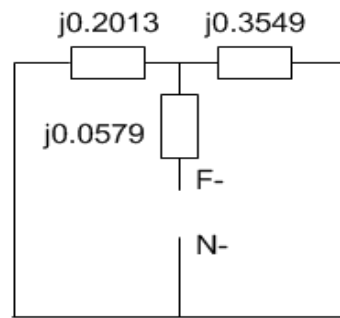
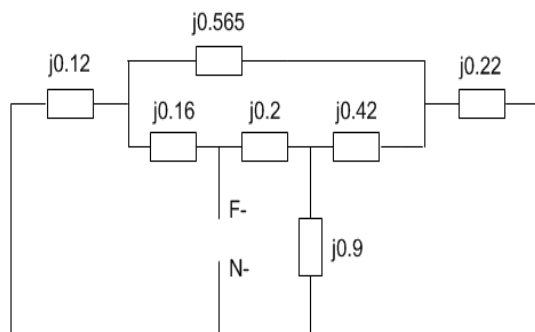
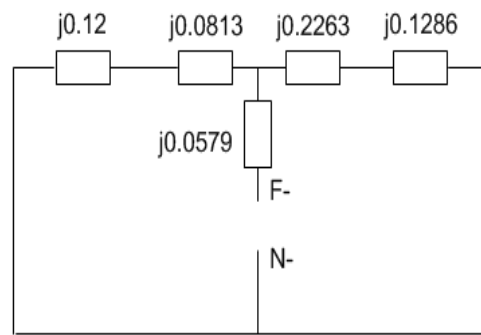
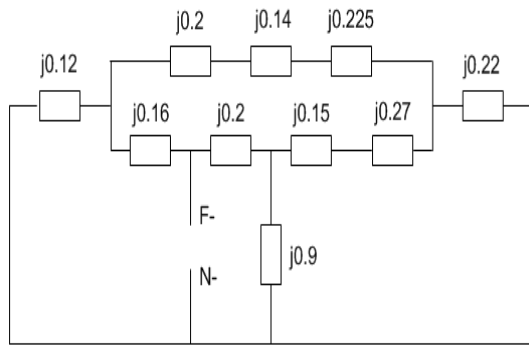


Step 8



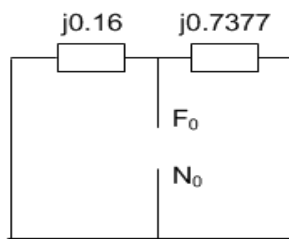
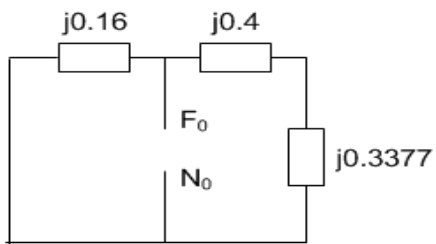
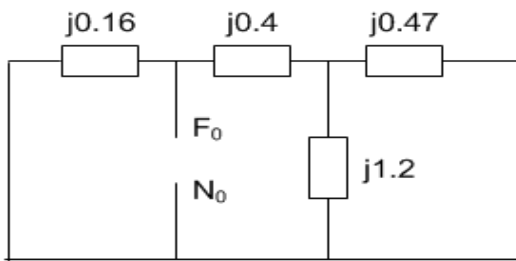
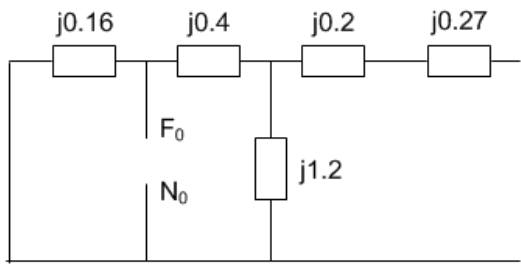
RANGKAIAN THEVENIN
URUTAN POSITIF

RANGKAIAN URUTAN NEGATIF

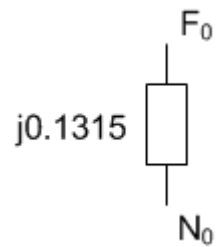


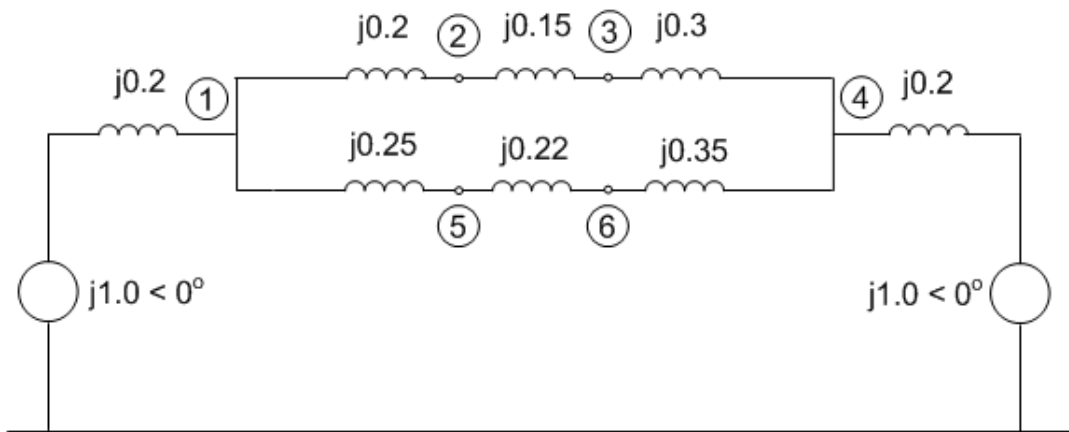
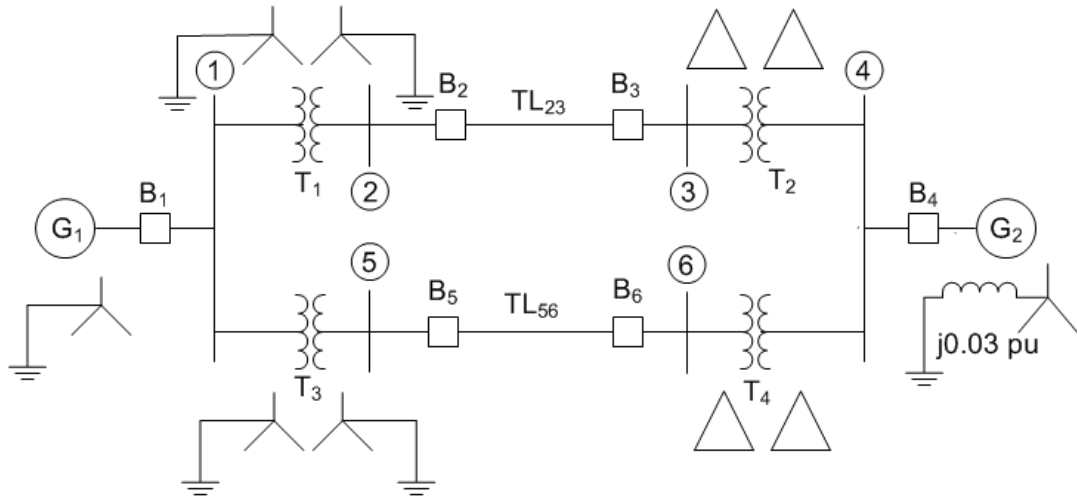
REAKTANSI PENGGANTI URUTAN NEGATIF

RANGKAIAN URUTAN NOL

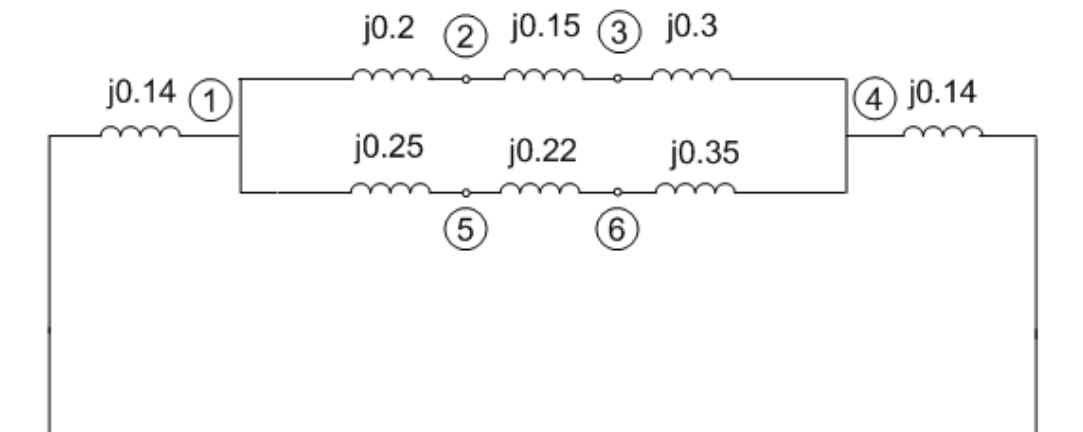


REAKTANSI PENGGANTI URUTAN NOL

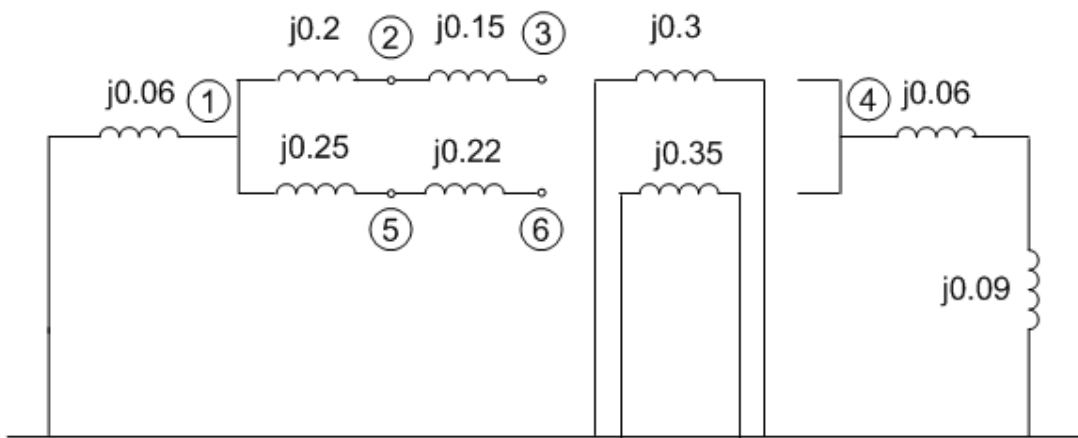




Rangkaian urutan positif

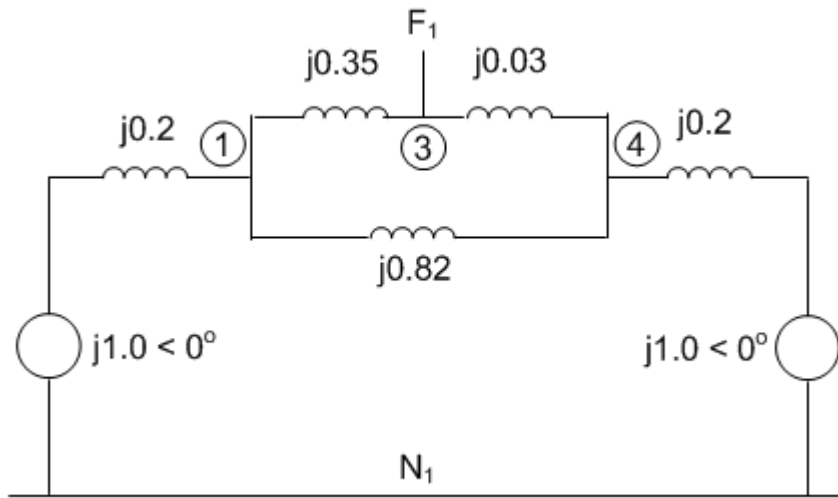


Rangkaian urutan negatif

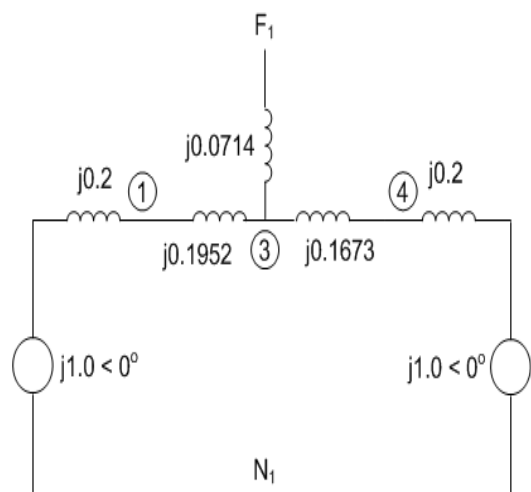


Rangkaian urutan nol

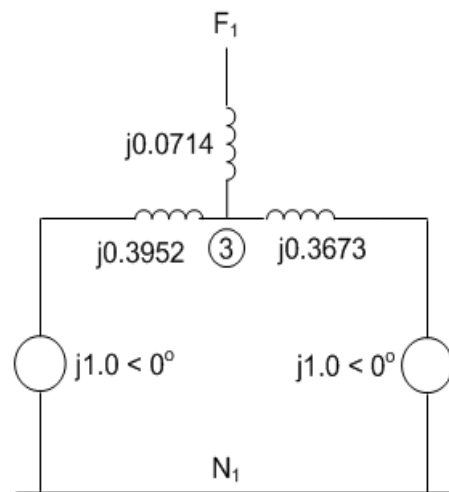
RANGKAIAN URUTAN POSITIF :



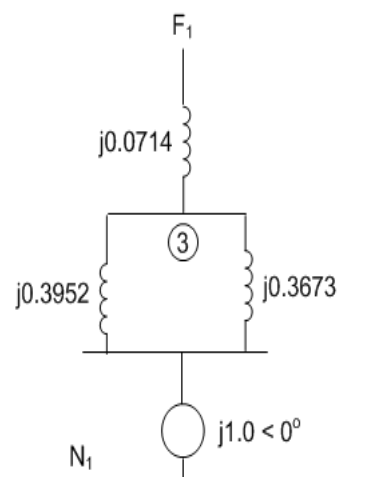
(a)



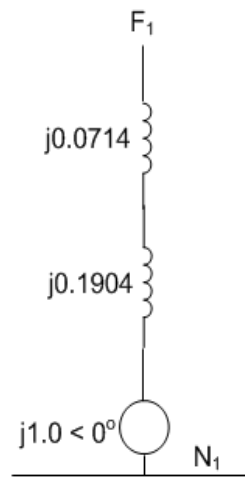
(b)



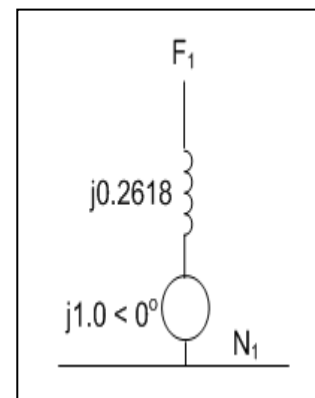
(c)



(d)

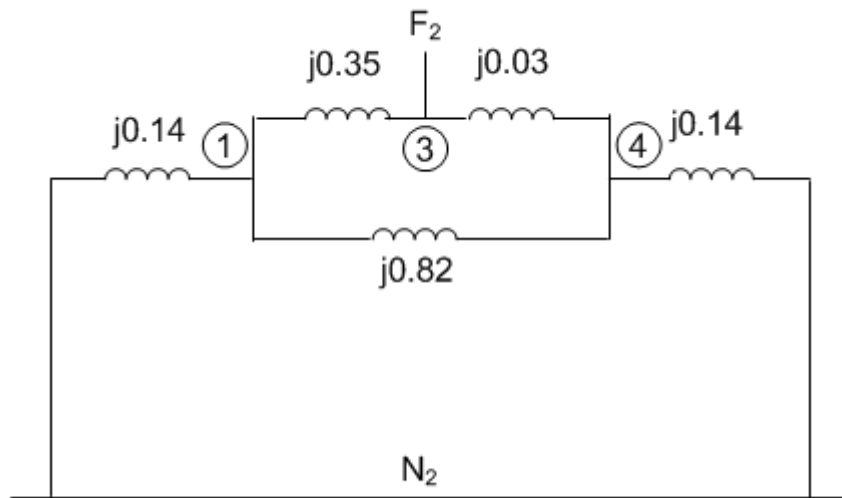


(e)

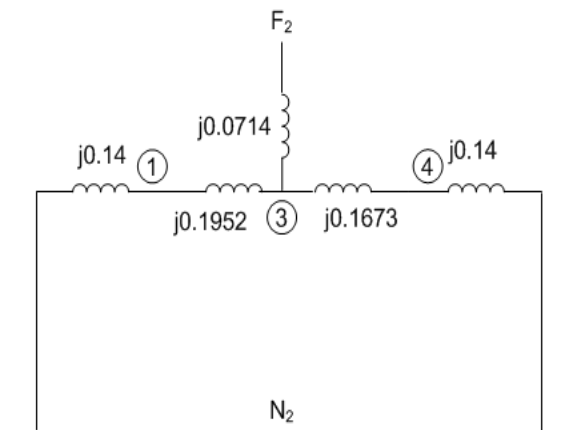


(f)

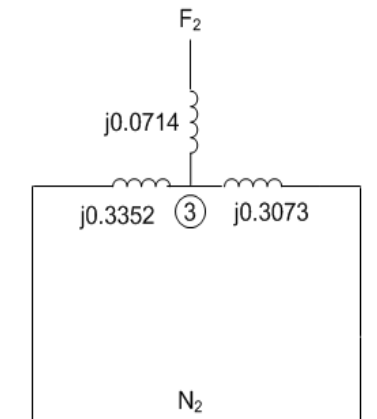
RANGKAIAN URUTAN NEGATIF :



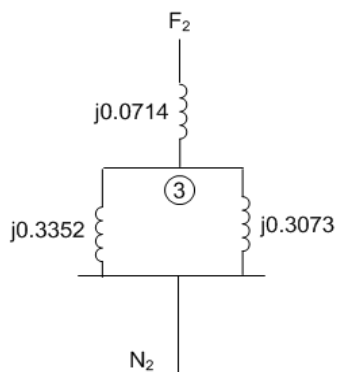
(a)



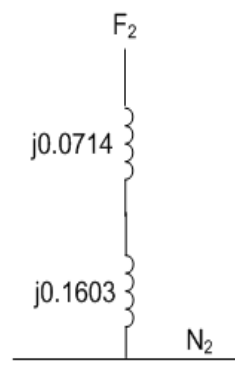
(b)



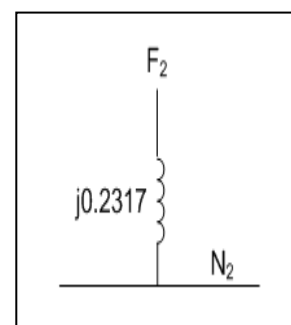
(c)



(d)

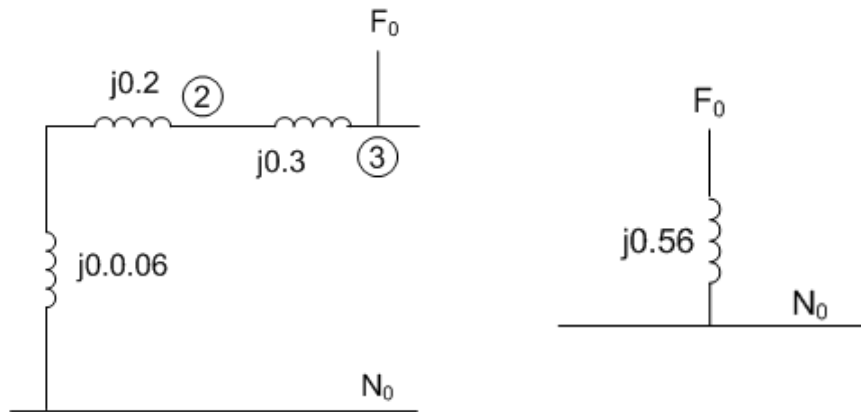


(e)

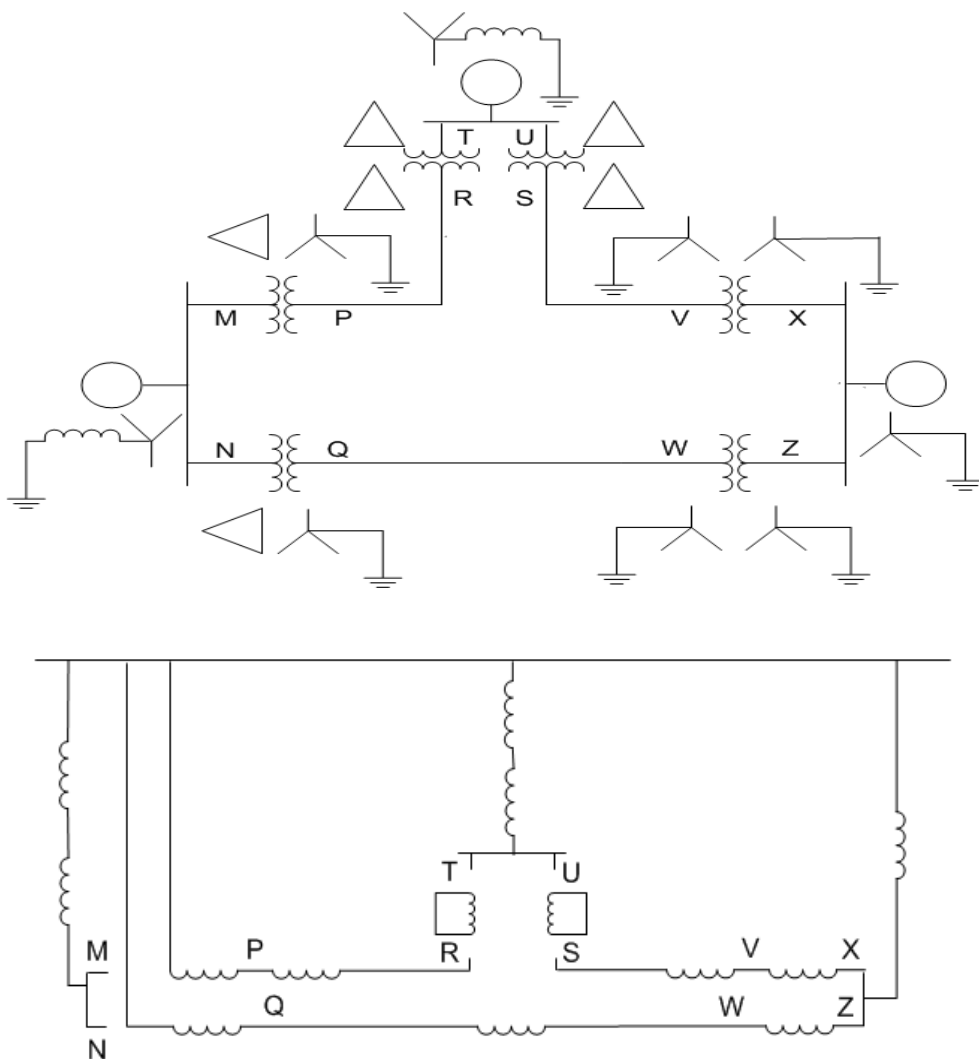


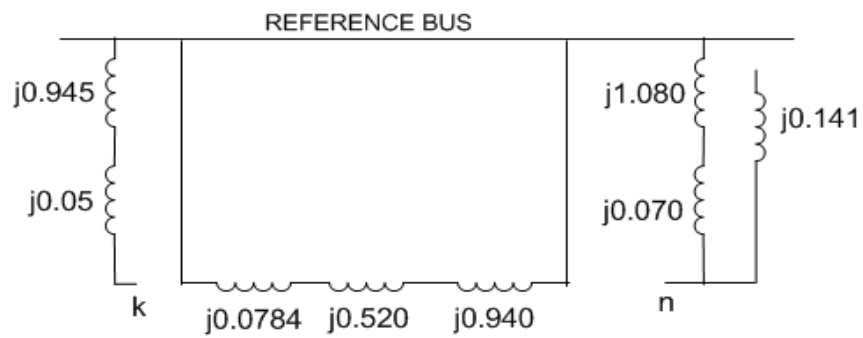
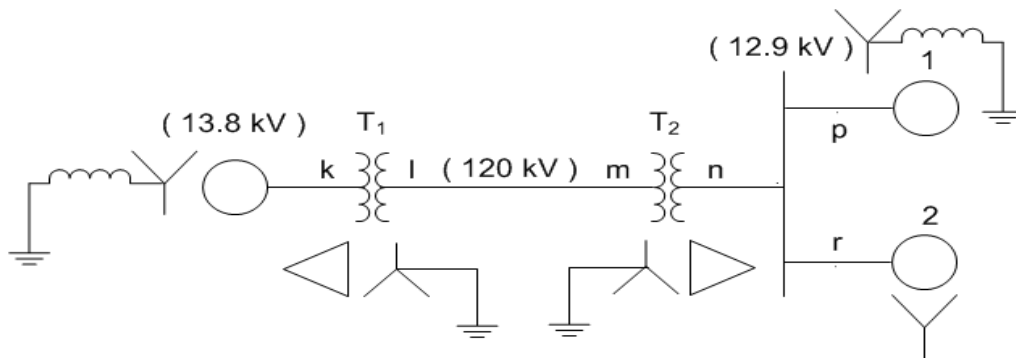
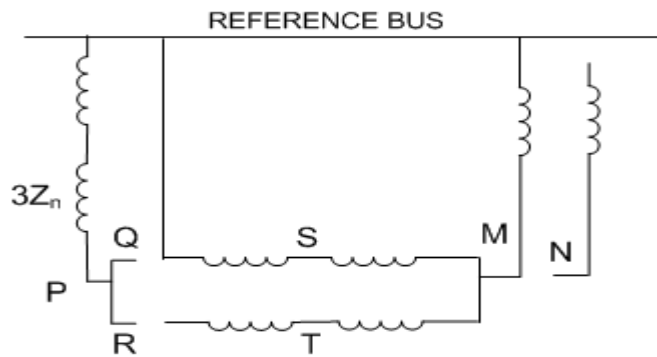
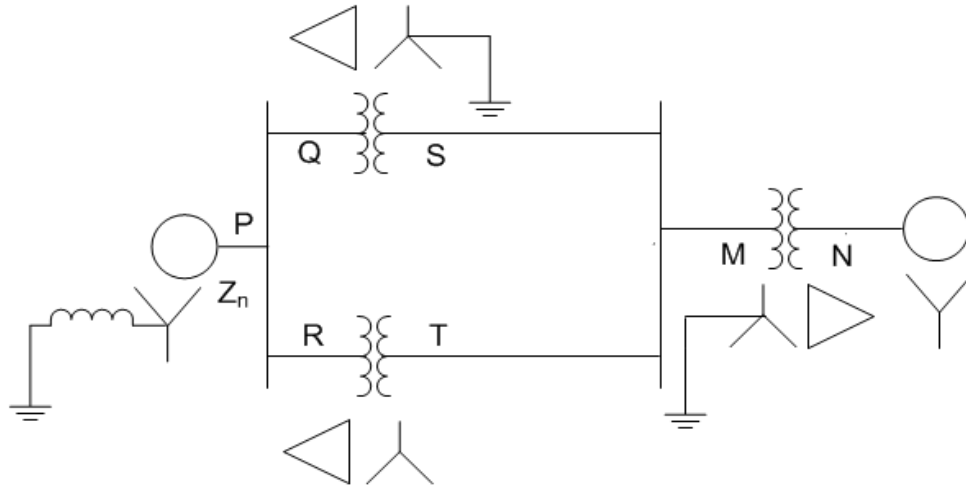
(f)

RANGKAIAN URUTAN NOL :

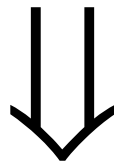
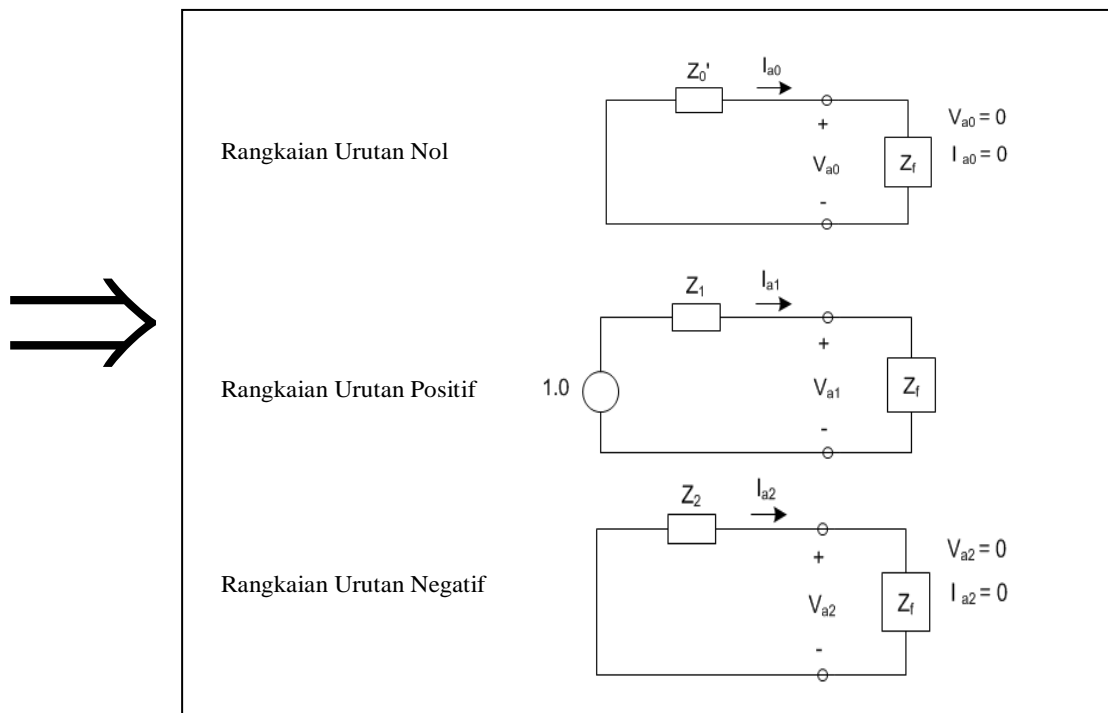


CONTOH RANGKAIAN URUTAN NOL :

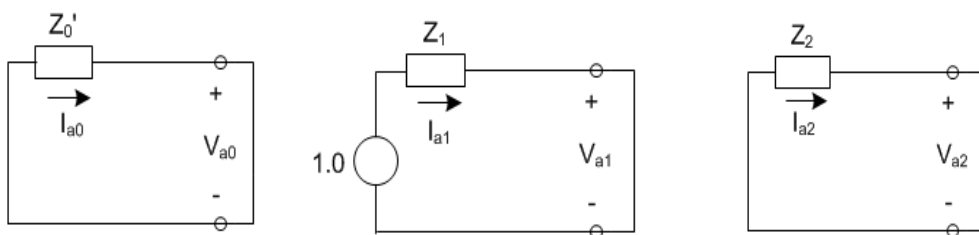




HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN

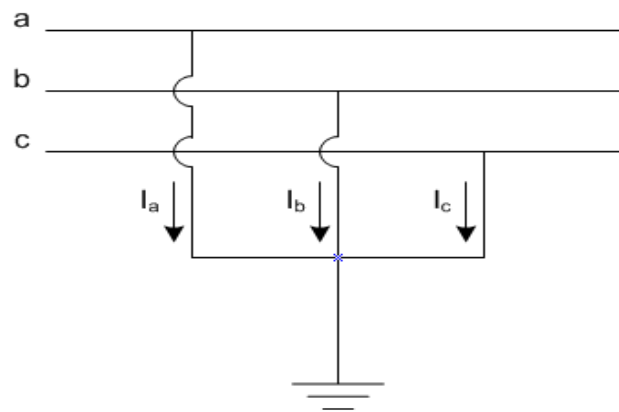


Untuk $Z_f = 0$ (H.S. 3 fasa ke tanah langsung) berlaku

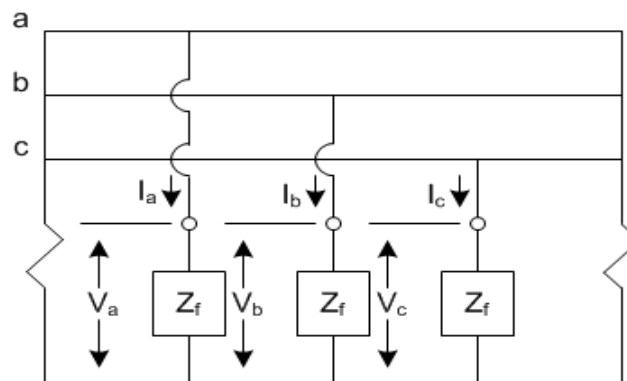


$$\begin{aligned}
 V_{a0} &= V_{a2} = 0 \\
 I_{a0} &= I_{a2} = 0
 \end{aligned}$$

HUBUNG SINGKAT 3 PHASA KE TANAH (LANGSUNG)



HUBUNG SINGKAT 3 PHASA KE TANAH MELALUI IMPEDANSI



UNTUK HUBUNG SINGKAT 3 PHASA KE TANAH MELALUI IMPEDANSI BERLAKU :

$$V_a = Z_f I_a$$

$$V_b = Z_f I_b$$

$$V_c = Z_f I_c$$

DALAM BENTUK MATRIX DAPAT DITULIS SEBAGAI BERIKUT :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

TRANSFORMASI IMPEDANSI KE DALAM KOMPONEN SIMETRINYA ADALAH :

$$Z_{012} = A^{-1} \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} A = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix}$$

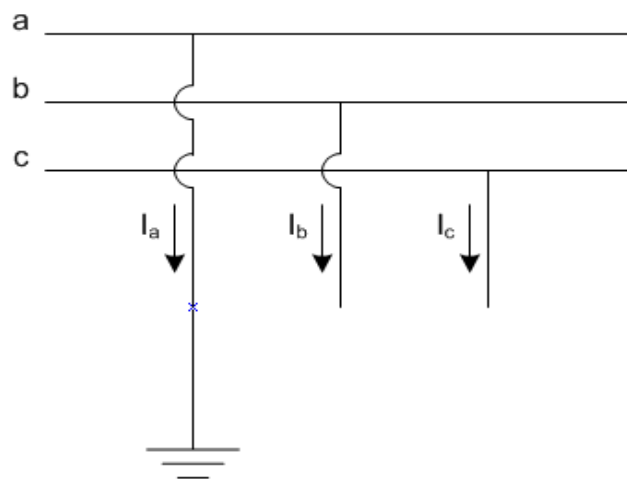
SEHINGGA DIPEROLEH

$$V_{a0} = Z_f I_{a0}$$

$$V_{a1} = Z_f I_{a1}$$

$$V_{a2} = Z_f I_{a2}$$

HUBUNG SINGKAT SATU PHASA KE TANAH (LANGSUNG)



$$I_b = I_c = 0$$

$$V_a = 0$$

TRANSFORMASI ARUS KE DALAM KOMPONEN SIMETRINYA ADALAH,

$$I_{a0} = A^{-1} I_{abc}$$

DARI PERSAMAAN DI ATAS DIPEROLEH,

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a$$

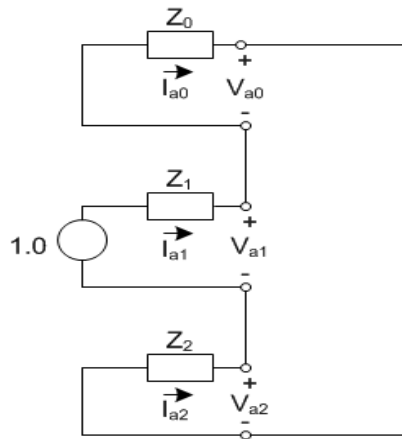
DEMIKIAN JUGA DARI PERSAMAAN

$$V_{abc} = AV_{012}$$

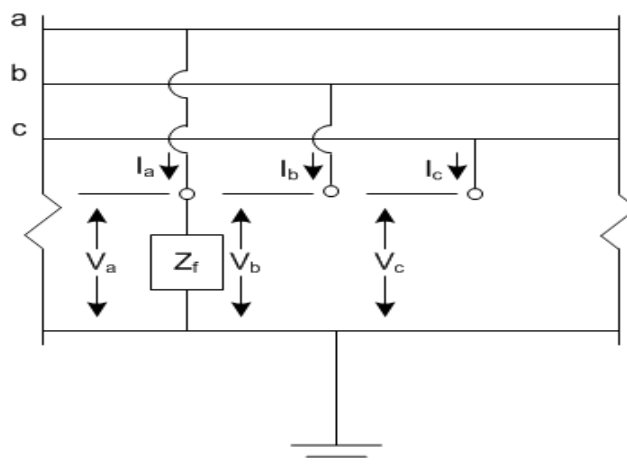
DIPEROLEH,

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0$$

HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN :



HUBUNG SINGKAT SATU PHASA KE TANAH MELALUI IMPEDANSI



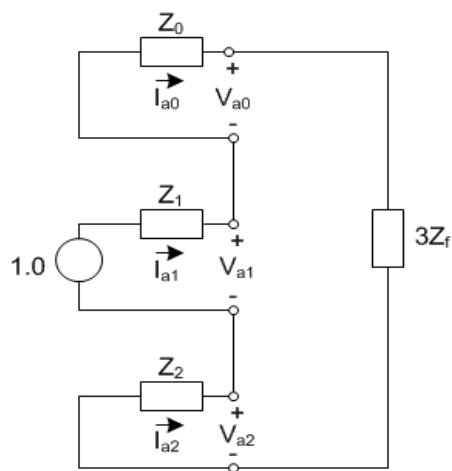
$$V_a = Z_f I_a$$

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = Z_f I_a$$

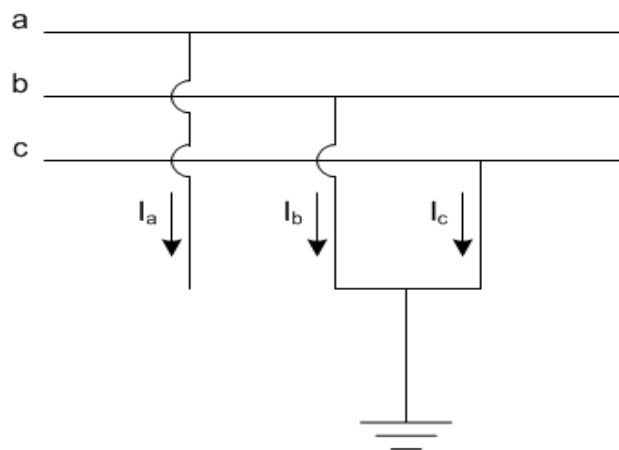
KARENA $I_a = 3 I_{a1}$,

MAKA $V_a = 3 Z_f I_{a1}$

HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN



HUBUNG SINGKAT DUA PHASA KE TANAH (LANGSUNG)



$$I_a = 0$$

$$V_b = V_c = 0$$

DARI METODE KOMPONEN SIMETRI DIPOEROLEH,

$$V_{012} = A^{-1} V_{abc}$$

DENGAN SUBSTITUSI KE BENTUK KOMPONEN SIMETRINYA DIPEROLEH,

$$V_{a0} = V_{a1} = V_{a2} = \frac{1}{3} V_a$$

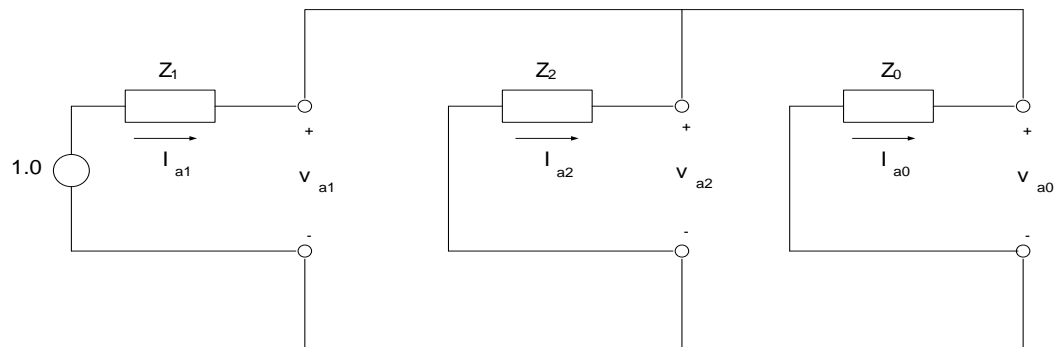
DEMIKIAN JUGA DARI PERSAMAAN,

$$I_{abc} = A I_{012}$$

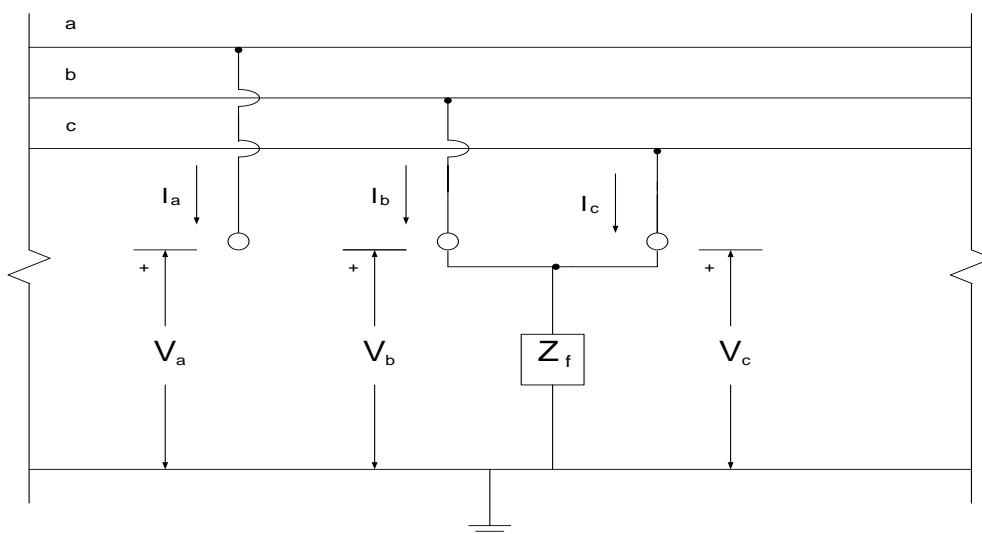
ARUS YANG MENGALIR PADA PHASA A ADALAH

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0$$

HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN



HUBUNG SINGKAT DUA PHASA KE TANAH MELALUI IMPEDANSI



$$V_b = V_c = Z_f (I_b + I_c)$$

DENGAN METODE KOMPONEN SIMETRI DIPEROLEH,

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + 2 V_b)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + (a^2 + a) V_b)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + (a^2 + a) V_b)$$

DENGAN PERSAMAAN DI ATAS TERLIHAT BAHWA,

$$V_{a1} = V_{a2}$$

$$V_{a0} - V_{a1} = V_b = Z_f (I_b + I_c)$$

DENGAN MEMBAWA ARUS I_b DAN I_c KE DALAM KOMPONEN SIMETRINYA, MAKA JUMLAH I_b DAN I_c ADALAH,

$$I_b + I_c = 2 I_{a0} + (a^2 + a)(I_{a1} + I_{a2})$$

DARI KEADAAN AWALNYA DIPEROLEH

$$I_{a1} + I_{a2} = - I_{a0}$$

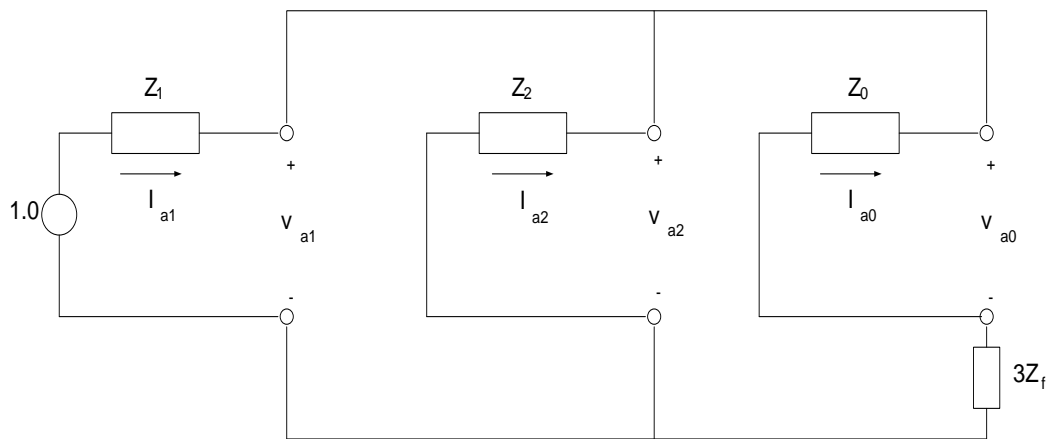
SUBSTITUSI PERSAMAAN DIATAS KE DALAM PERSAMAAN SEBELUMNYA DIDAPATKAN

$$I_b + I_c = 3 I_{a0}$$

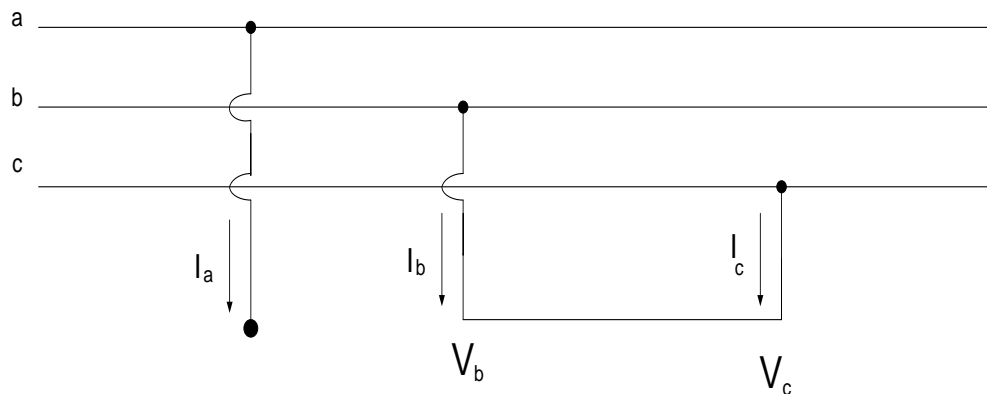
DENGAN MENSUBSTITUSIKAN PERSAMAAN DIATAS KE DALAM PERSAMAAN SEBELUMNYA DIPEROLEH,

$$V_b = V_{a0} - V_{a1} = 3 Z_f I_{a0}$$

HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN



HUBUNG SINGKAT ANTAR PHASA (LANGSUNG)



$$I_a = 0 ; I_a = - I_c ; V_b = V_c$$

KOMPONEN SIMETRI ARUS YANG MENGALIR PADA PHASA A ADALAH :

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) = \frac{a^2 - a}{3} I_c$$

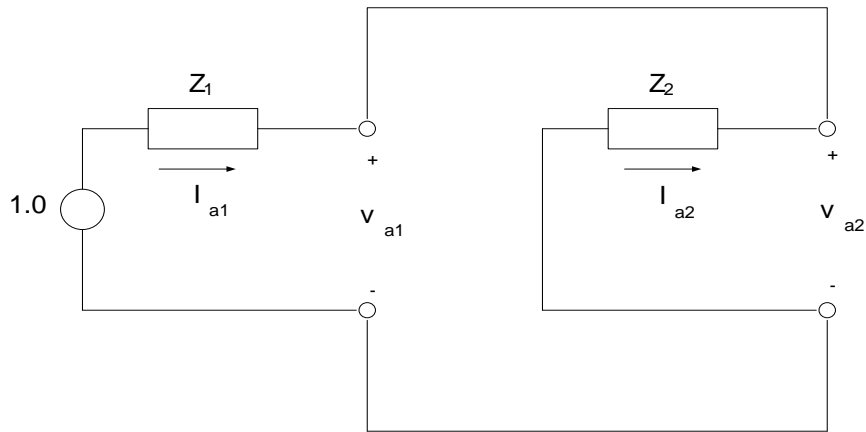
$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) = \frac{a - a^2}{3} I_c = - I_{a1}$$

KARENA $I_{a0} = 0$ MAKA $V_{a0} = 0$, JADI TIDAK TERDAPAT KOMPONEN URUTAN NOL. DENGAN MEMASUKKAN PERSAMAAN PADA

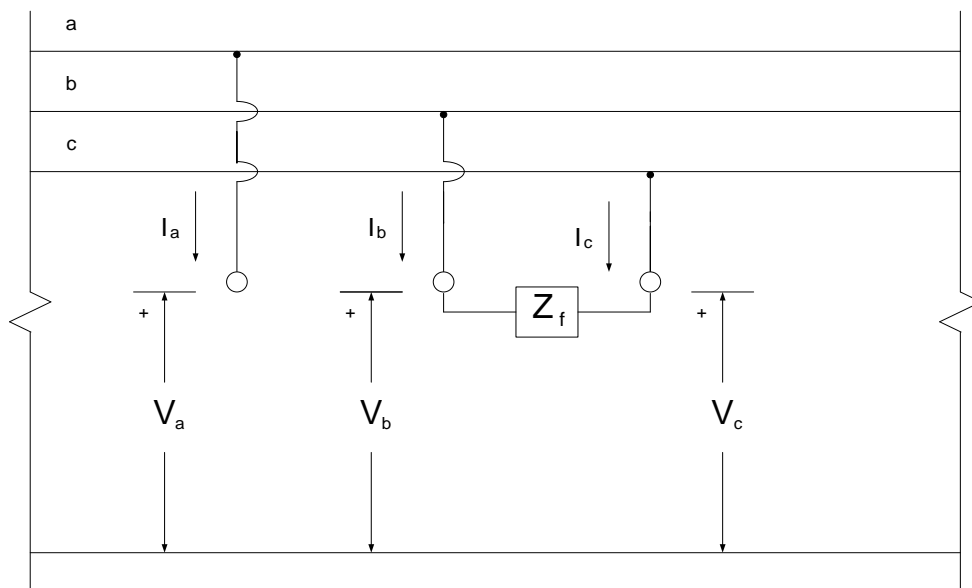
KEADAAN AWALNYA, MAKA TEGANGAN URUTAN POSITIF DAN NEGATIFNYA ADALAH :

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + (a + a^2) V_c) = V_{a2}$$

HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN



HUBUNG SINGKAT ANTAR PHASA MELALUI IMPEDANSI



$$V_b = V_c - Z_f I_c$$

DENGAN MEMASUKKAN KOMPONEN SIMETRI ARUS YANG MENGALIR PADA PHASA A KE PERSAMAAN DIATAS DIPEROLEH :

$$V_b = V_c - Z_f \frac{3}{a^2 - a} I_{a1}$$

UNTUK GABUNGAN ANTAR SALURAN, $I_{a0} = 0$ DAN $V_{a0} = 0$

KOMPONEN-KOMPONEN SIMETRI UNTUK TEGANGAN YANG LAIN ADALAH :

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + a V_b + a^2 V_c)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2 V_b + a V_c)$$

SEHINGGA

$$V_{a1} - V_{a2} = \frac{1}{3} (a - a^2) V_b + \frac{1}{3} (a^2 - a) V_c$$

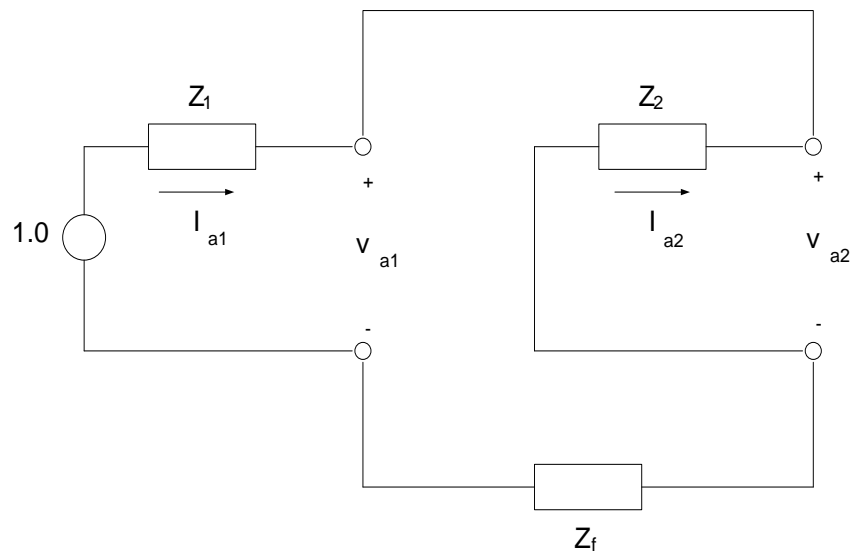
DENGAN MENSUBSTITUSIKAN PERSAMAAN SEBELUMNYA KE DALAM PERSAMAAN DI ATAS DIPEROLEH :

$$V_{a1} - V_{a2} = \frac{1}{3} (a - a^2) V_c - \left(\frac{a - a^2}{a^2 - a} \right) Z_f I_{a1} + \frac{1}{3} (a^2 - a) V_c = Z_f I_{a1}$$

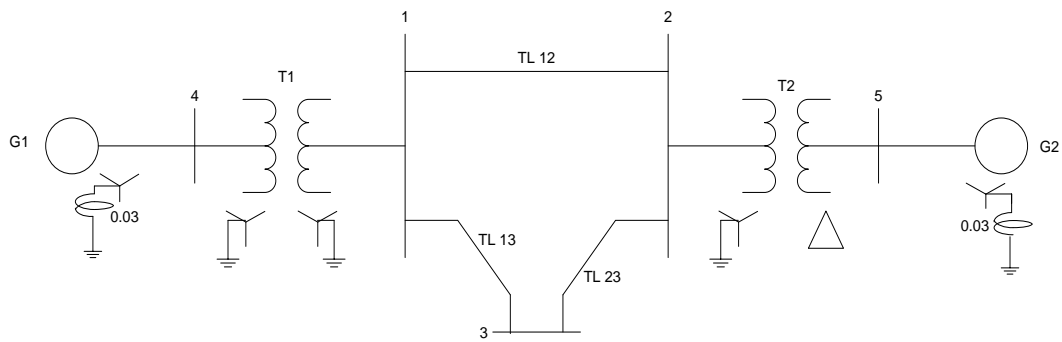
DARI PERSAMAAN KOMPONEN SIMETRI ARUS DIPEROLEH :

$$I_{a2} = -I_{a1} \text{ dan } V_{a1} = V_{a2} + Z_f I_{a1}$$

HUBUNGAN RANGKAIAN URUTAN



CONTOH SOAL :



SISTEM DATA

ITEM	MVA RATING	VOLTAGE RATING	X ₁	X ₂	X ₃
G1	150	25 KV	0.2	0.2	0.2
G2	200	13.8 KV	0.2	0.2	0.2
T1	100	25/230 KV	0.05	0.05	0.05
T2	100	13.8/230 KV	0.05	0.05	0.05
TL12	100	230 KV	0.1	0.1	0.1
TL23	100	230 KV	0.1	0.1	0.1
TL13	100	230 KV	0.1	0.1	0.1

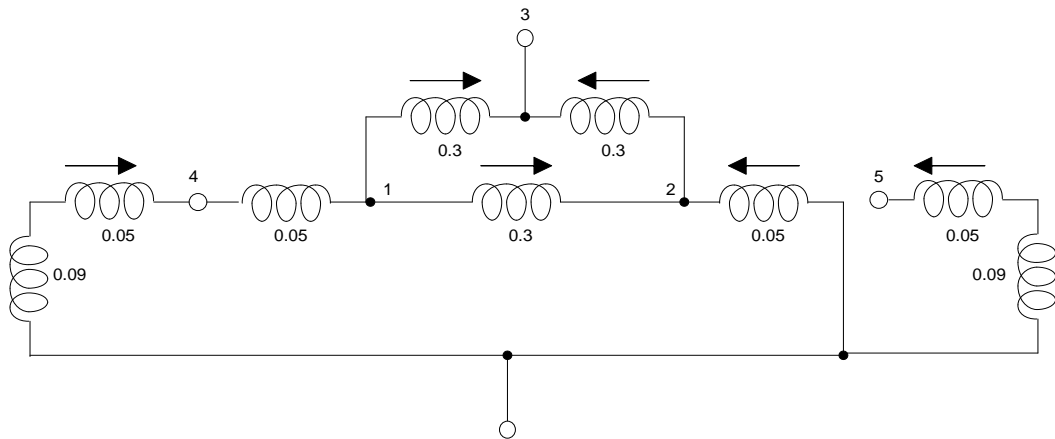
Pa Bases 100 MVA

25 KV $I = \frac{100}{0.025\sqrt{3}} = 2310 \text{ A}$

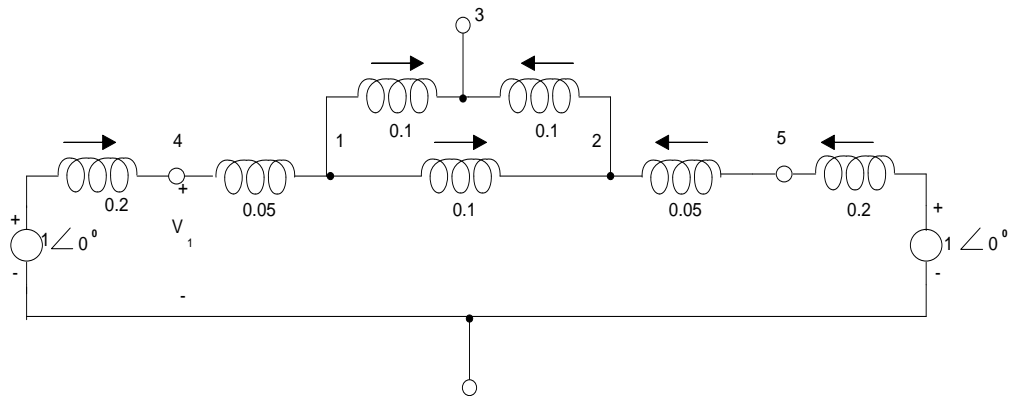
230 KV $I = \frac{100}{0.23\sqrt{3}} = 231 \text{ A}$

13.8 KV $I = \frac{100}{0.0138\sqrt{3}} = 4184 \text{ A}$

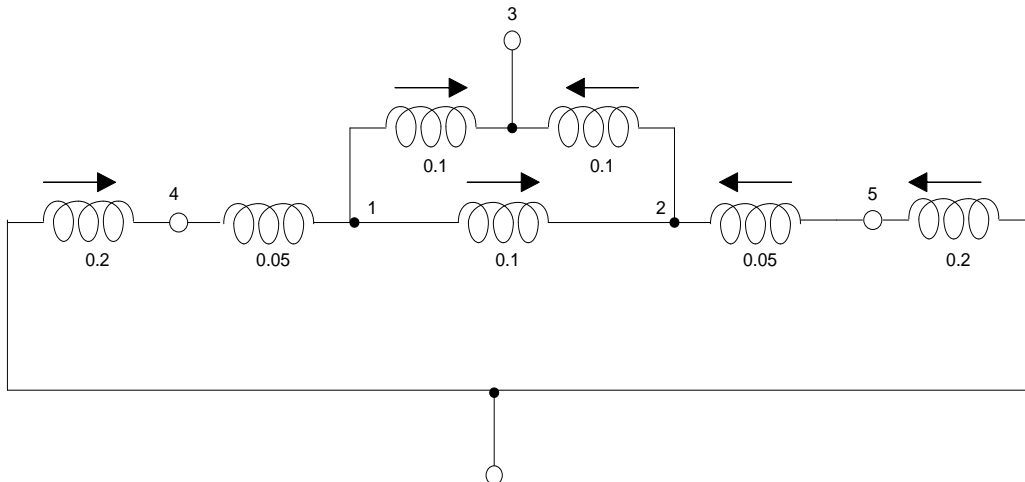
RANGKAIAN URUTAN NOL

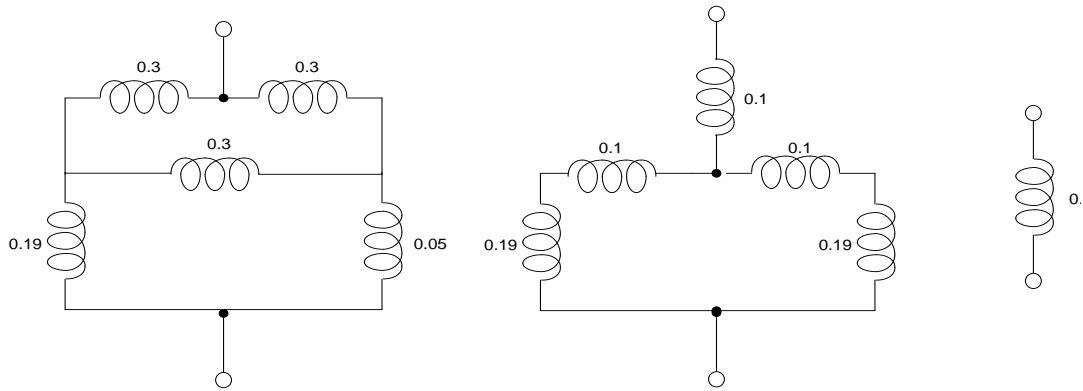


RANGKAIAN URUTAN POSITIF

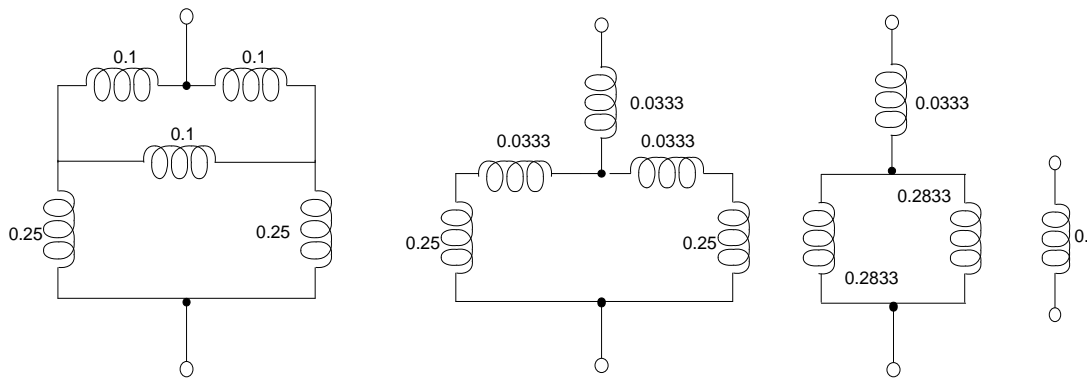


RANGKAIAN URUTAN NEGATIF

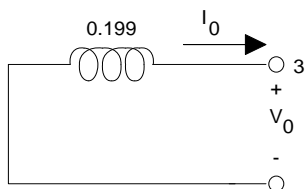




MENENTUKAN IMPEDANSI PENGGANTI THEVENIN URUTAN NOL

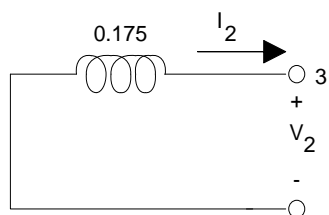
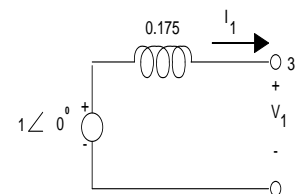


MENENTUKAN IMPEDANSI PENGGANTI THEVENIN URUTAN POSITIP(= URUTAN NEGATIP)



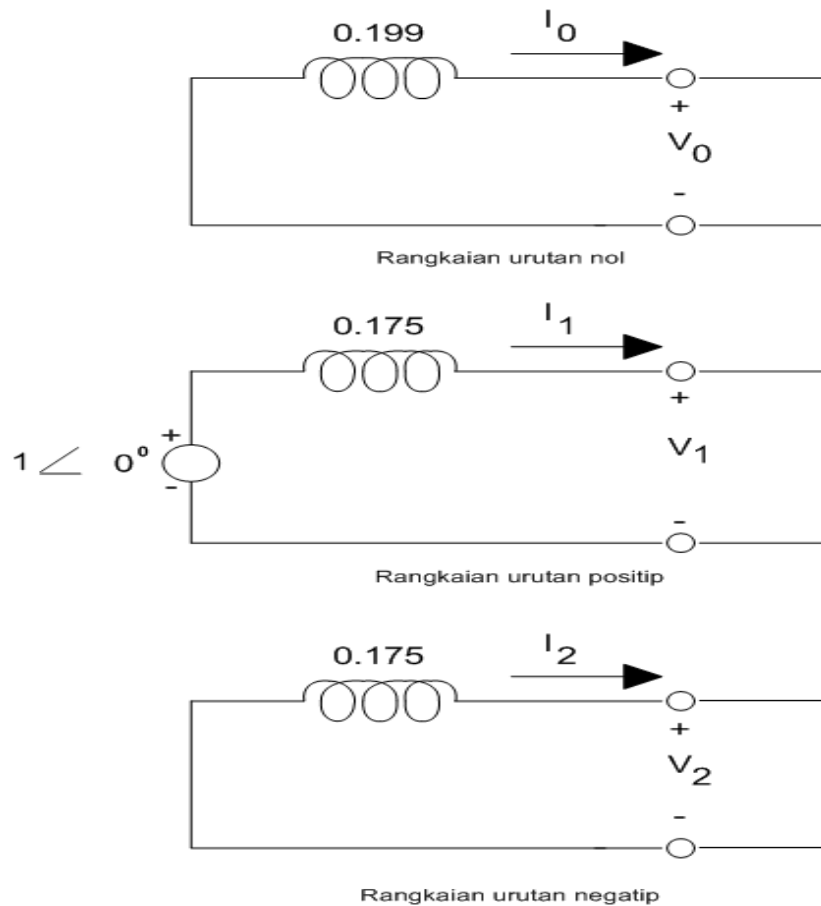
RANGKAIAN PENGGANTI THEVENIN URUTAN NOL

RANGKAIAN PENGGANTI THEVENIN URUTAN POSITIP



RANGKAIAN PENGGANTI THEVENIN URUTAN NEGATIP

HUBUNG SINGKAT TIGA PHASA KE TANAH



$$V_0 = I_0 = V_2 = I_2 = 0$$

$$I_1 = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.175} = -j5.71$$

$$V_1 = 0$$

TEG. PHASA

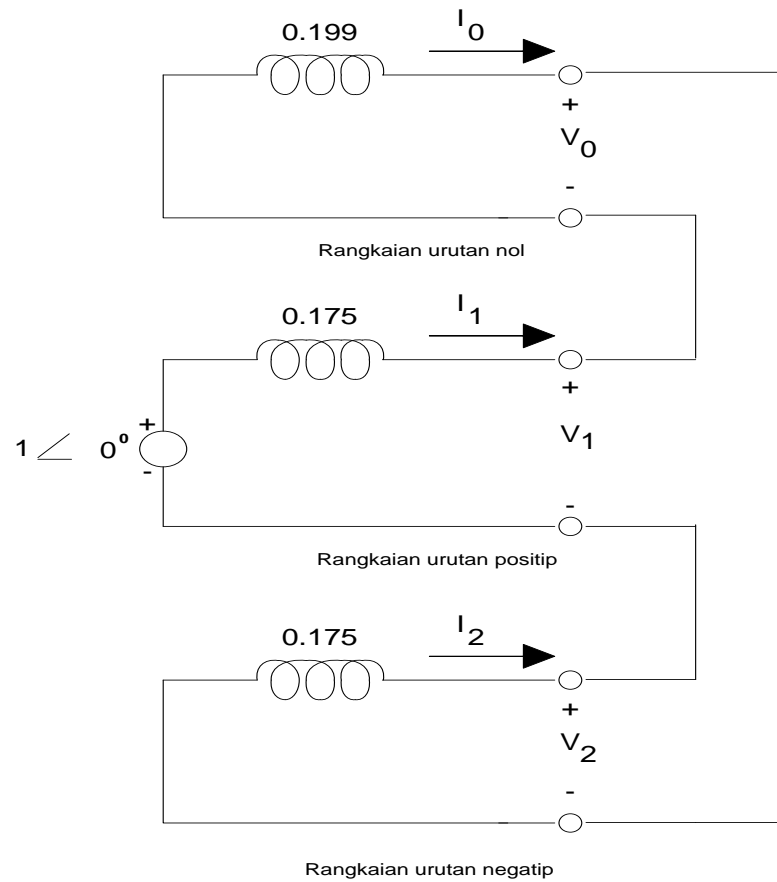
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ DARI TITIK GANGGUAN TERHADAP}$$

TANAH

ARUS PHASA

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j5.71 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.71\angle -90^\circ \\ 5.71\angle 150^\circ \\ 5.71\angle 30^\circ \end{bmatrix} \text{ DARI TITIK GANGGUAN KE TANAH}$$

HUBUNG SINGKAT SATU PHASA KE TANAH



$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.199 + j0.175 + j0.175}$$

$$= -j 1.82$$

$$\text{ARUS PHASA : } \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j1.82 \\ -j1.82 \\ -j1.82 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j5.46 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{DARI TITIK GANGGUAN KE TANAH}$$

$$V_0 = -j0.199(-j1.82) = -0.362$$

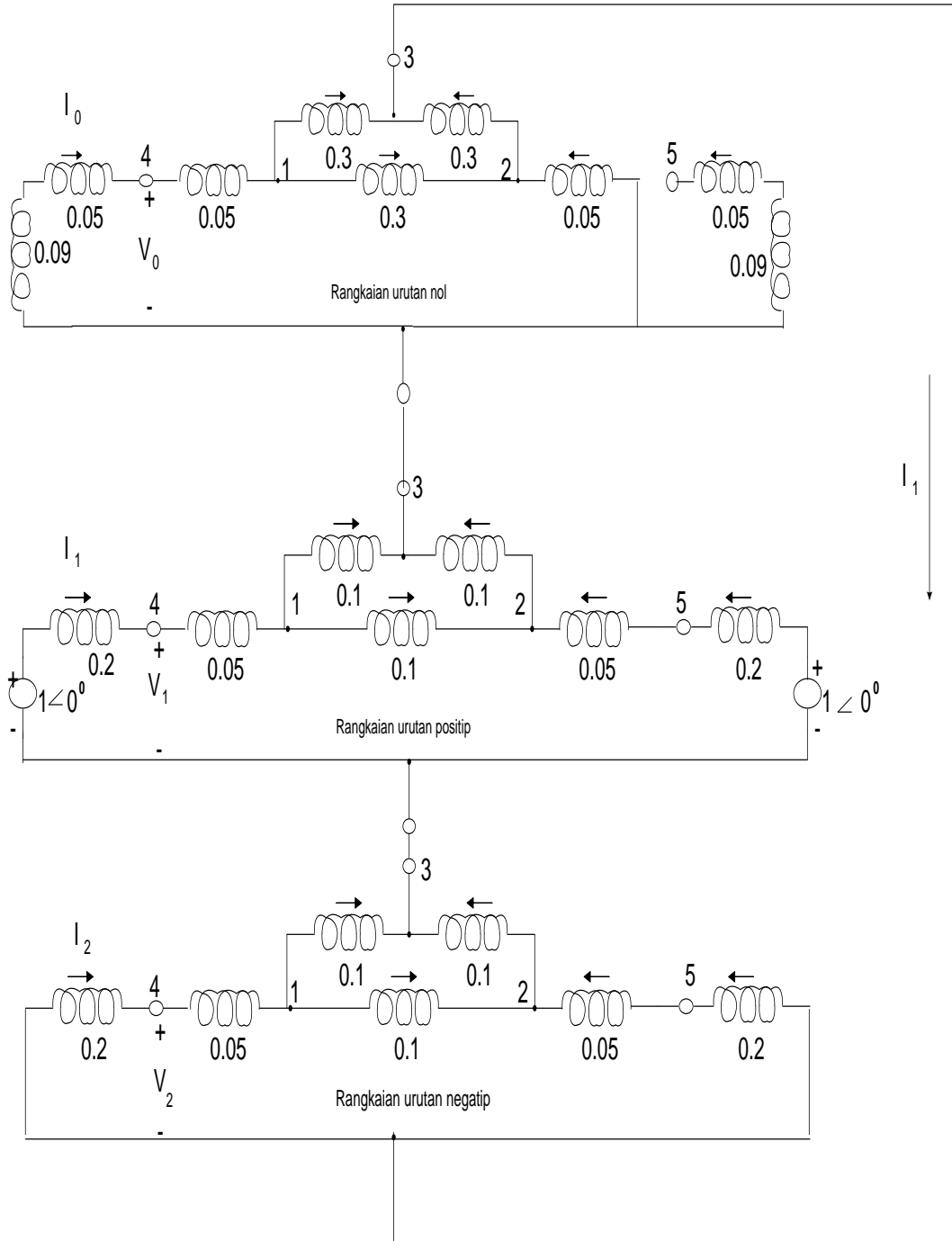
$$V_1 = 1 - j0.175(-j1.82) = 0.681$$

$$V_2 = -j0.175(-j1.82) = -0.319$$

TEG.
PHASA

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.362 \\ 0.681 \\ -0.319 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.022 \angle 238^\circ \\ 1.022 \angle 122^\circ \end{bmatrix}$$

DARI TITIK
GANGGUAN
KE TANAH



GENERATOR G1 (Bus 4)

$$I_f = -j 1.82$$

$$I_1 = I_2 = \frac{1}{2} I_f$$

$$= -j0.91$$

$$I_0 = \frac{0.15}{0.29+0.15} (-j 1.82) = -j0.62$$

ARUS PHASA :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -j0.62 \\ -j0.91 \\ -j0.91 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.44 \angle -90^\circ \\ 0.29 \angle +90^\circ \\ 0.29 \angle +90^\circ \end{bmatrix} \text{ DARI GENERATOR G1}$$

$$V_0 = -(-j0.62)(j0.14) = -0.087$$

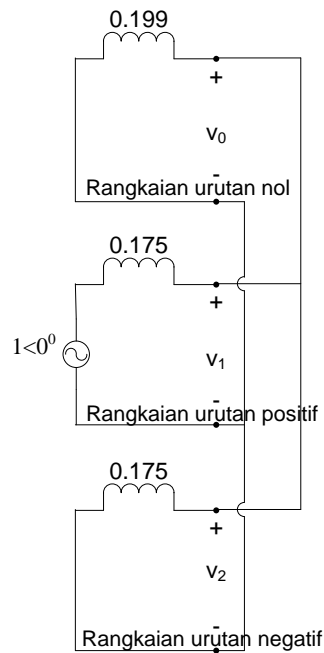
$$V_1 = 1 - j0.2(-j0.91) = 0.818$$

$$V_2 = -j0.2(-j0.91) = 0.182$$

TEG. PHASA :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.087 \\ 0.818 \\ -0.182 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.549 \angle 0^\circ \\ 0.959 \angle 245^\circ \\ 0.959 \angle 115^\circ \end{bmatrix} \text{ DARI TERMINAL GENERATOR G1 THD TANAH}$$

HUBUNGAN SINGKAT ANTARA PHASA KETANAH



$$I_1 = \frac{1\angle 0}{j0.175 + \frac{j0.175(j0.199)}{j0.175 + j0.199}} = -j3.73$$

$$I_0 = \frac{0.175}{0.175 + 0.199} (+j3.73) = +j1.75$$

$$I_2 = \frac{0.199}{0.175 + 0.199} (+j3.73) = +j1.99$$

ARUS PHASA DARI
TITIK GANGGUAN KE
TANAH

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j1.75 \\ -j3.75 \\ j1.99 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.60\angle 152.1^\circ \\ 5.60\angle 27.9^\circ \end{bmatrix}$$

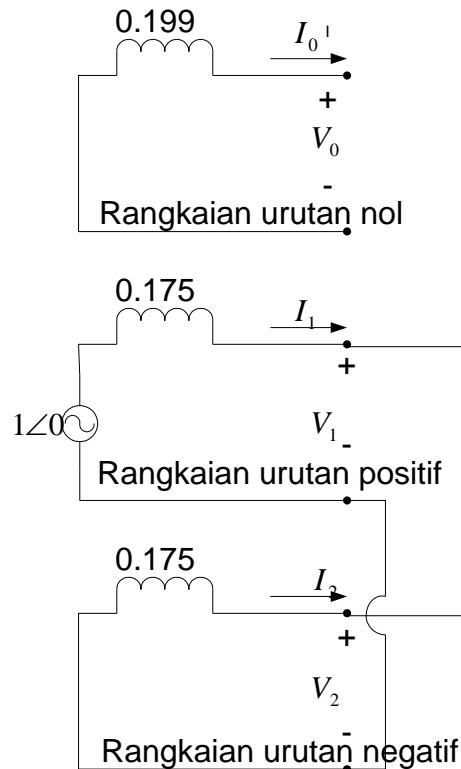
$$V_0 = V_1 = V_2 = - (j1.75)(j0.199)$$

$$= 0.348$$

TEGANGAN PHASA DARI
GANGGUAN TERHADAP
TANAH

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.348 \\ 0.348 \\ 0.348 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.044 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

HUBUNG SINGKAT ANTAR PHASA



$$I_1 = -I_2 = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.175 + j0.175} = -j2.68$$

$$I_0 = 0$$

ARUS PHASA PADA TITIK
GANGGUAN ANTAR PHASA
TERHUBUNG SINGKAT

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -j2.86 \\ +j2.86 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -4.95 \\ +4.95 \end{bmatrix}$$

$$V_1 = V_2 = I_1(j0.175) = 0.5$$

$$V_0 = 0$$

TEGANGAN PHASA PADA TITIK
GANGGUAN TERHADAP
TANAH.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 \\ -0.5 \\ -0.5 \end{bmatrix}$$

MASALAH STABILITAS DALAM SISTEM TENAGA LISTRIK

DALAM KEADAAN OPERASI YANG STABIL DARI SISTEM TENAGA LISTRIK, TERDAPAT KESEIMBANGAN ANTARA DAYA INPUT MEKANIS PADA PRIME MOVER DENGAN DAYA OUTPUT LISTRIK (BEBAN LISTRIK) PADA SISTEM.

DALAM KEADAAN INI SEMUA GENERATOR BERPUTAR PADA KECEPATAN SINKRON.

- TERUTAMA JIKA TERJADI GANGGUAN, MAKA SESAAT AKAN TERJADI PERBEDAAN YANG BESAR ANTARA DAYA INPUT MEKANIS DAN DAYA OUTPUT LISTRIK DARI GENERATOR.
- KELEBIHAN DAYA MEKANIS TERHADAP DAYA LISTRIK MENGAKIBATKAN PERCEPATAN PADA PUTARAN ROTOR GENERATOR ATAU SEBALIKNYA.
- BILA GANGGUAN TIDAK DIHILANGKAN DENGAN SEGERA, MAKA PERCEPATAN / PERLAMBATAN PUTARAN ROTOR GENERATOR AKAN MENGAKIBATKAN HILANGNYA SINKRONISASI DALAM SISTEM.

(out of step)!



STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK

KEMAMPUAN SUATU SISTEM TENAGA LISTRIK ATAU BAGIAN KOMPONENNYA UNTUK MEMPERTAHANKAN SINKRONISASI DAN KESEIMBANGAN DALAM SISTEM.

BATAS STABILITAS SISTEM:

DAYA MAKSIMUM YANG DAPAT MENGALIR MELALUI SUATU TITIK DALAM SISTEM TANPA MENYEBABKAN HILANGNYA STABILITAS. BERDASARKAN **SIFAT DAN BESARNYA GANGGUAN**, MASALAH STABILITAS DALAM SISTEM TENAGA LISTRIK DIBEDAKAN ATAS:

- *STABILITAS STEADY-STATE*
- *STABILITAS TRANSIENT*
- *STABILITAS DINAMIS*

GANGGUAN TERHADAP STABILITAS: ✓

- GANGGUAN KECIL : FLUKTUASI BEBAN ✓
- GANGGUAN BESAR (BERSIFAT MENDADAK): ✓
HUBUNG SINGKAT, PELEPASAN BEBAN MENDADAK, DSB.

STABILITAS STEADY-STATE:

KEMAMPUAN DARI SUATU SISTEM TENAGA MEMPERTAHANKAN SINKRONISASI ANTARA MESIN-MESIN ✓ DALAM SISTEM SETELAH MENGALAMI **GANGGUAN KECIL**.



STABILITAS TRANSIENT :

KEMAMPUAN DARI SUATU SISTEM TENAGA MEMPERTAHANKAN SINKRONISASI SETELAH MENGALAMI GANGGUAN BESAR YANG BERSIFAT MENDADAK SELAMA SEKITAR **SATU "SWING"** (YANG PERTAMA) DENGAN ASUMSI BAHWA PENGATUR TEGANGAN OTOMATIS (AVR) DAN GOVERNOR BELUM BEKERJA.

SATBILITAS DINAMIS :

BILA SETELAH SWING PERTAMA (PERIODE STABILITAS TRANSIENT) SISTEM BELUM MAMPU MEMPERTAHANKAN SINKRONISASI SAMPAI SISTEM MENCAPI KEADAAN SEIMBANG YANG BARU. (ADALAH STABILITAS TRANSIENT BILA AVR DAN GOVERNOR BEKERJA CEPAT DAN DIPERHITUNGGAN DALAM ANALISIS).

PENGERTIAN HILANGNYA SINKRONISASI

KETIDAKSEIMBANGAN ANTARA DAYA PEMBANGKIT DAN BEBAN MENIMBULKAN SUATU KEADAAN TRANSIENT YANG MENYEBABKAN **ROTOR DARI MESIN SINKRON BERAYUN** KARENA ADANYA **TORSI** YANG MENGAKIBATKAN PERCEPATAN ATAU PERLAMBATAN PADA ROTOR TERSEBUT.

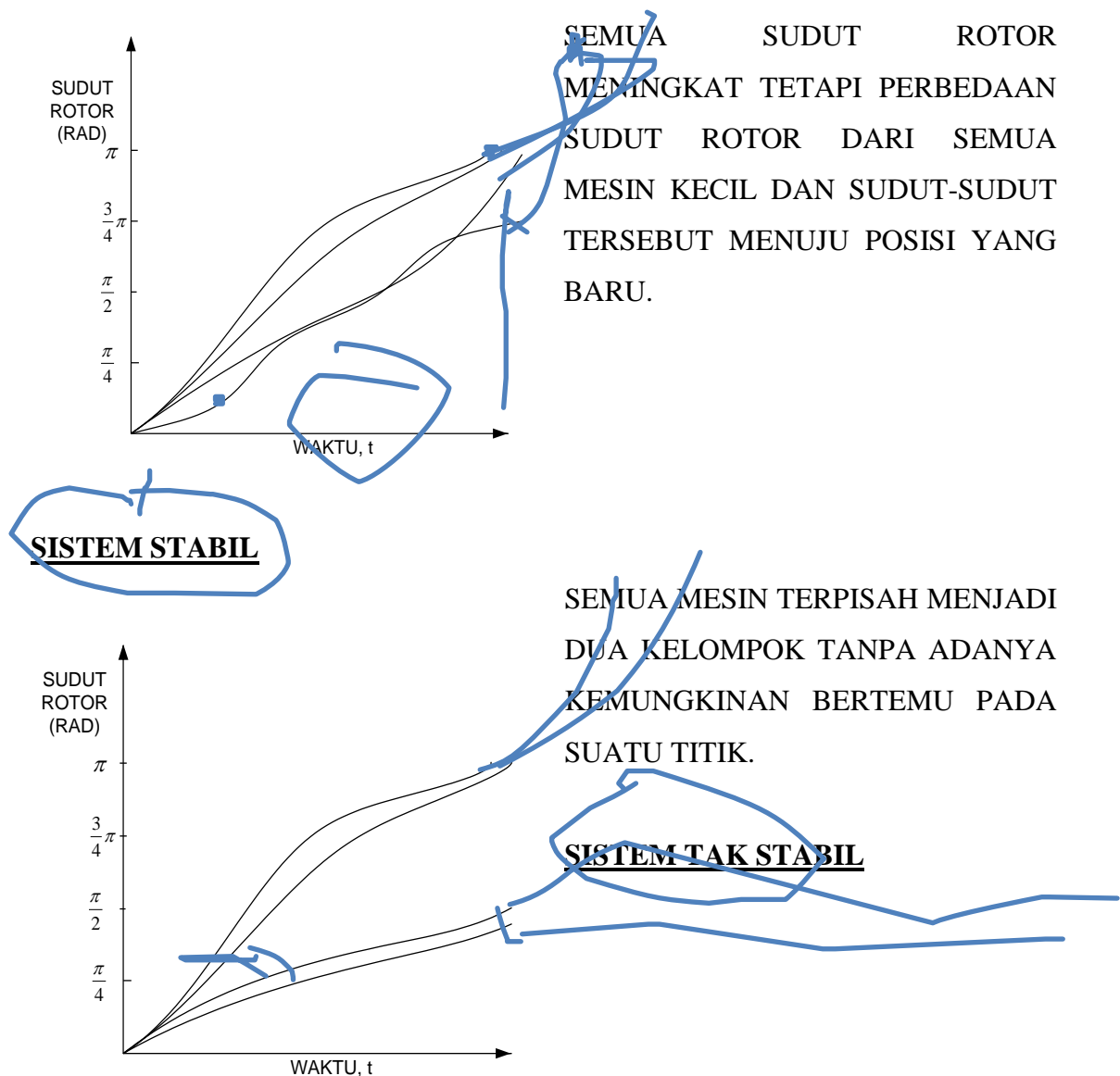
BILA TORSI TERSEBUT CUKUP BESAR, MAKA SATU ATAU LEBIH DARI MESIN SINKRON TERSEBUT AKAN KEHILANGAN **SINKRONISASINYA.**

MISAL TERJADI KETIDAKSEIMBANAGAN YANG DISEBABKAN OLEH ADANYA PEMBANGKITAN YANG BERLEBIHAN, MAKA SEBAGIAN BESAR DARI ENERGI YANG BERLEBIHAN AKAN DIUBAH

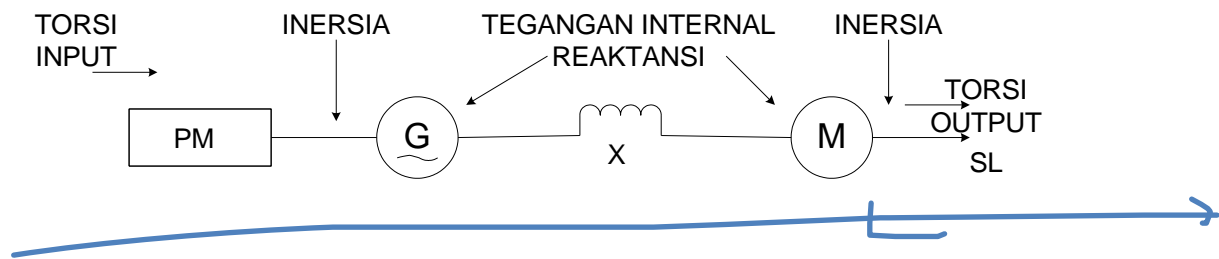
MENJADI ENERGI KINETIK YANG MENGAKIBATKAN KECEPATAN SUDUT ROTOR BERTAMBAH BESAR. ■

WALAUPUN KECEPATAN ROTOR BERTAMBAH BESAR, TIDAK BERARTI BAHWA SINKRONISASI DARI MESIN TERSEBUT AKAN HILANG. FAKTOR YANG MENENTUKAN ADALAH PERBEDAAN SUDUT ROTOR / DAYA ANTARA MESIN-MESIN DALAM SISTEM, DIMANA SUDUT ROTOR / DAYA TERSEBUT DIUKUR TERHADAP REFERENSI PUTARAN SINKRON. ■

PERHATIKAN GAMBAR DIBAWAH INI YANG MENUNJUKKAN SUDUT ROTOR/DAYA MESIN DALAM SISTEM 4 MESIN SEBAGAI FUNGSI WAKTU SELAMA KEADAAN TRANSIENT.



FAKTOR FAKTOR UTAMA DALAM MASALAH STABILITAS



PM	:	PRIME MOVER
G	:	GENERATOR SINKRON
X	:	REAKTANSI SALURAN
M	:	MOTOR SINKRON
SL	:	SUMBU BEBAN

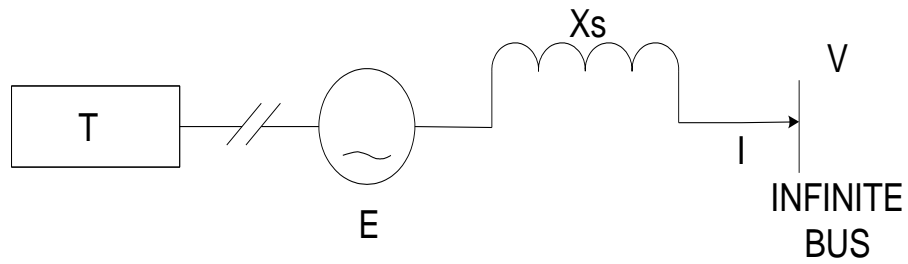
1.FAKTOR MEKANIS :

- TORSI INPUT PRIME MOVER
- INERSIA DARI PRIME MOVER DAN GENERATOR
- INERSIA MOTOR DAN SUMBU BEBAN ■
- TORSI OUTPUT SUMBU BEBAN

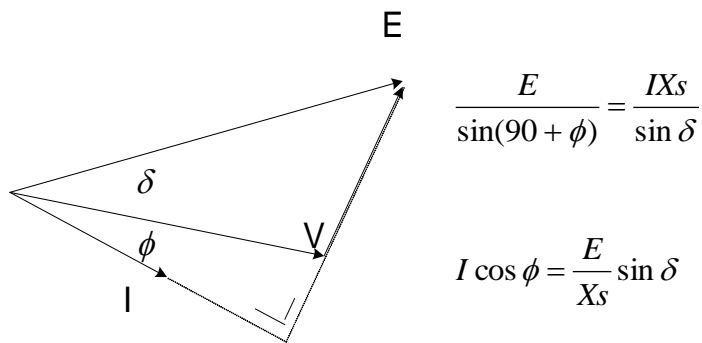
2.TORSI ELEKTRIS :

- TEGANGAN INTERNAL DARI GENERATOR SINKRON
- REAKTANSI SISTEM
- TEGANGAN INTERNAL DARI MOTOR SINKRON

**$P = fs(\delta)$ DARI GENERATOR SEREMPAK DENGAN ROTOR BULAT
(NON SALIENT POLE)**

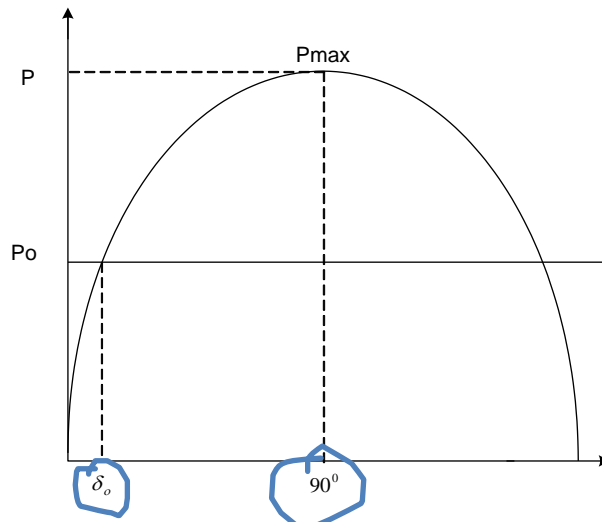


$$E = V + I X_s$$



$P = VI \cos \phi$ (DAYA YANG DIBANGKITKAN OLEH GENERATOR)

$$P = \frac{VE}{X_s} \sin \delta$$



P = fs(δ) DARI GENERATOR SEREMPAK DENGAN KUTUB MENONJOL
(SALIENT POLE)

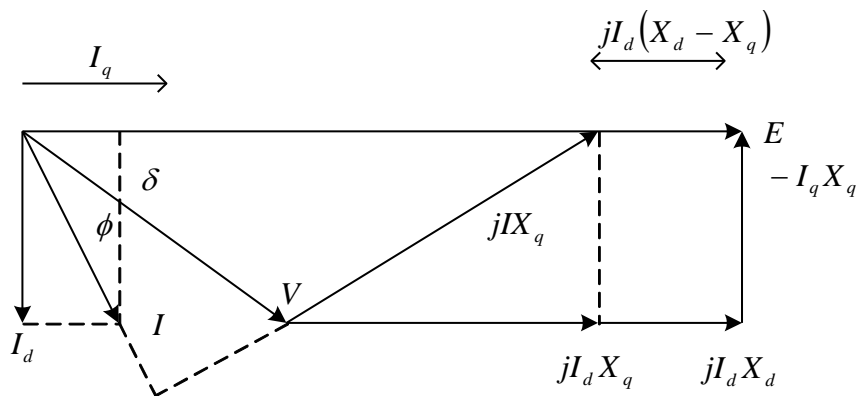
$$E = V + I_d(jX_d) + jI_q(jX_q)$$

$$= V + jI_dX_d + jI_qjX_q + jI_dX_q - jI_dX_q$$

$$= V + (I_d + jIX_q)(jX_q) + jI_d(X_d - X_q)$$

$$E = V + jIX_q + jI_d(X_d - X_q)$$

DIMANA : $I = I_d + jI_q$



$$I \cos \phi = I_q \cos \delta + I_d \sin \delta$$

$$I \cos \phi = ob$$

$$= oa + ab$$

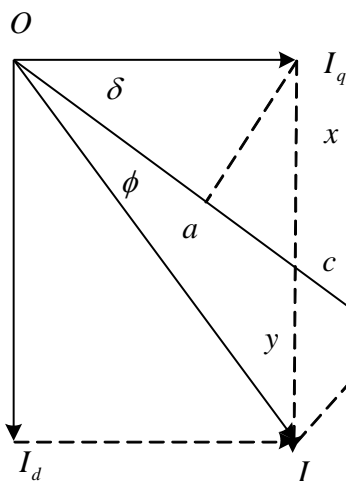
$$oa = I_q \cos \delta$$

$$ab = ac + cb$$

$$= x \sin \delta + y \sin \delta$$

$$= (x + y) \sin \delta$$

$$= I_d \sin \delta$$

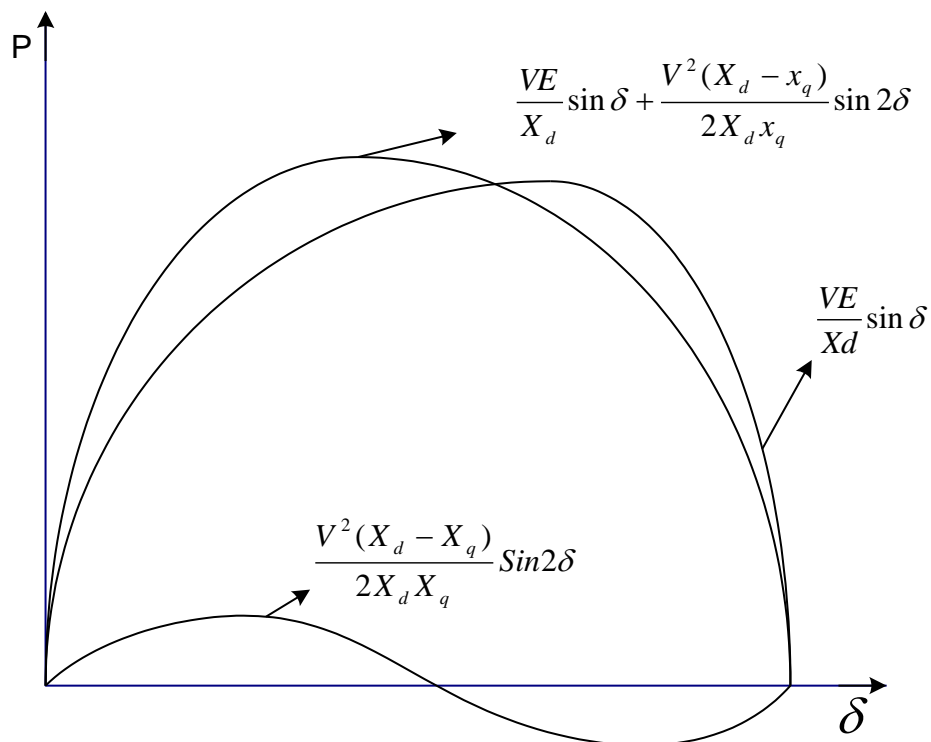


$$\begin{aligned}
 V \sin \delta &= I_q X_q \\
 V \cos \delta &= E - I_d X_d
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} V \sin \delta &= I_q X_q \\ V \cos \delta &= E - I_d X_d \end{aligned}} \right\}
 \begin{aligned}
 I_q &= \frac{V \sin \delta}{X_q} \\
 I_d &= \frac{E - V \cos \delta}{X_d}
 \end{aligned}$$

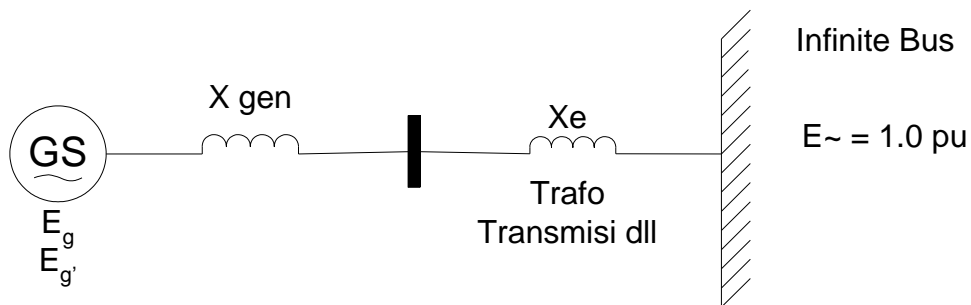
$$P = VI \cos \phi$$

$$= V \left[\frac{VE}{X_d} \right] \sin \delta + \frac{V^2 (X_d - X_q)}{2X_d X_q} \sin 2\delta$$

$$P = \frac{VE}{X_d} \sin \delta + \frac{V^2 (X_d - X_q)}{2X_d X_q} \sin 2\delta$$



CONTOH SOAL



SUATU ALTERNATOR TURBO 2 KUTUB TERHUBUNG SISTEM YANG BESAR DENGAN NAME PLATE DATA SEBAGAI BERIKUT:

100 MVA, 2 POLE, 50 HZ, 85% P.F., 13.2 kV (L-L)

$X_d = 100\%$, $X_q = X_q' = 96\%$, $X_d' = 20\%$ $X_e = 50\%$

UNTUK KEADAAN KERJA DIMANA ARUS YANG MENGALIR NOMINAL, DENGAN FAKTOR KERJA 1.0 PADA INFINITE BUS, TENTUKAN P vs δ UNTUK KEADAAN STEADY STATE DAN TRANSIENT.

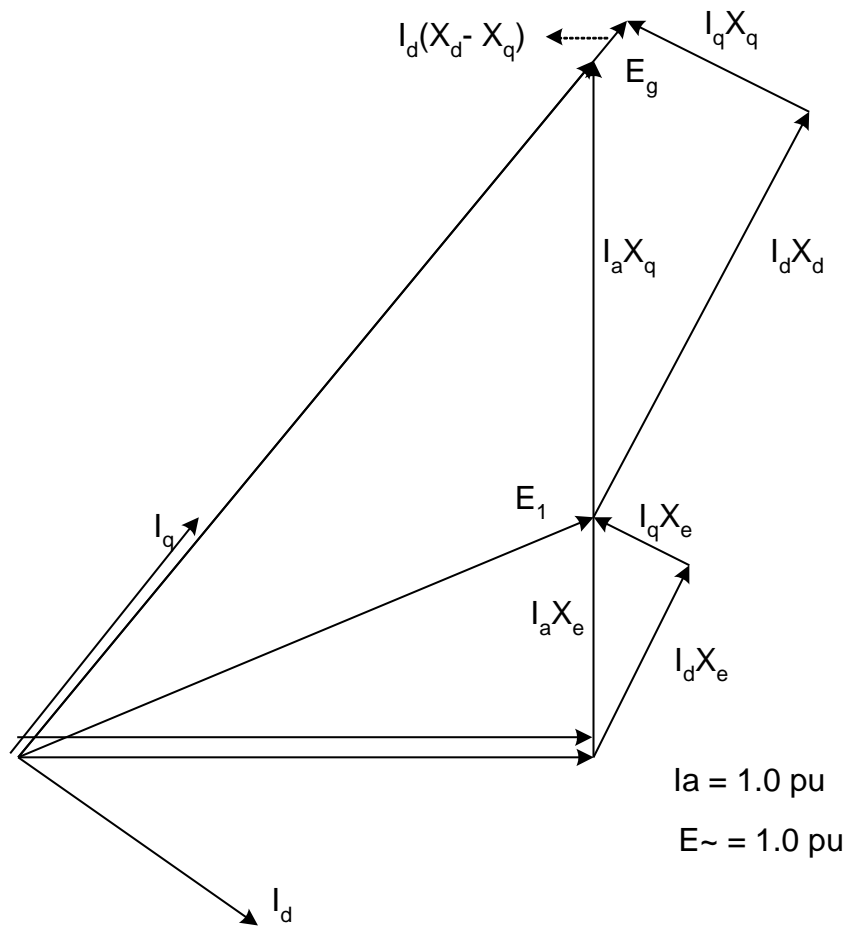
STEADY STATE:

$$P = \frac{E_g E_{\sim}}{X_d X_e} \sin \delta + \frac{E_{\sim}^2 \{ (X_d + X_e) - (X_q + X_e) \}}{2(X_d + X_e)(X_q + X_e)} \sin 2\delta$$

TRANSIENT:

$$P = \frac{E_g' E_{\sim}}{X_d' + X_e} \sin \delta + \frac{E_{\sim}^2 \{ (X_d' + X_e) - (X_q' + X_e) \}}{2(X_d' + X_e)(X_q' + X_e)} \sin 2\delta$$

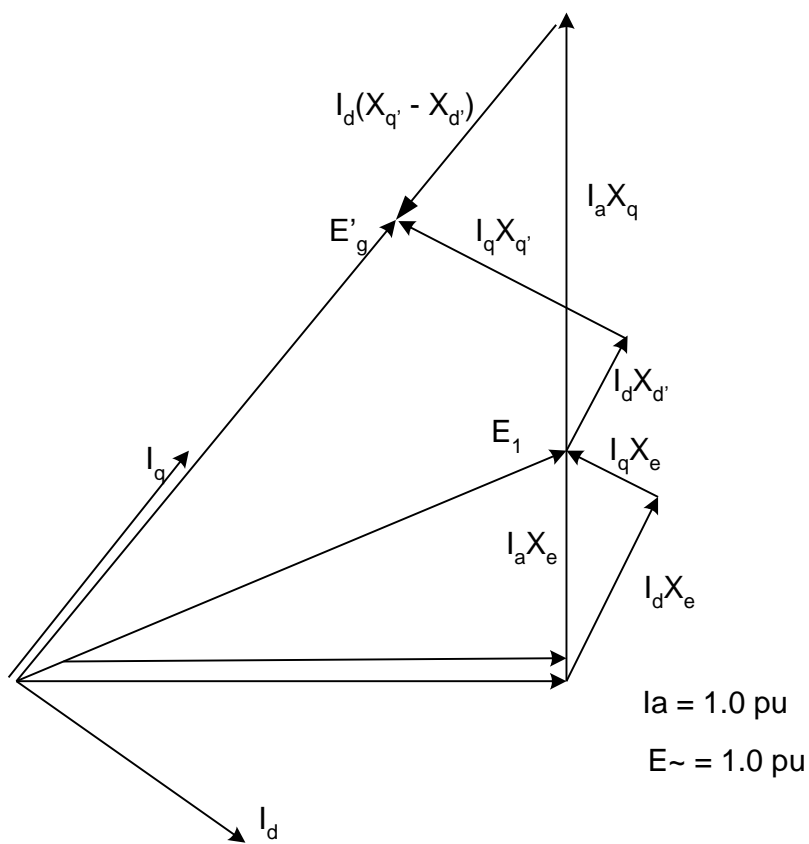
STEADY STATE



$$P = \frac{(1.81)(1.0)}{1.5} \sin \delta + \frac{1.0^2(1.0 - 0.96)}{2(1.5)(1.46)} \sin 2\delta$$

$$= 1.20 \sin \delta + 0.0091 \sin 2\delta \approx 1.2 \sin \delta$$

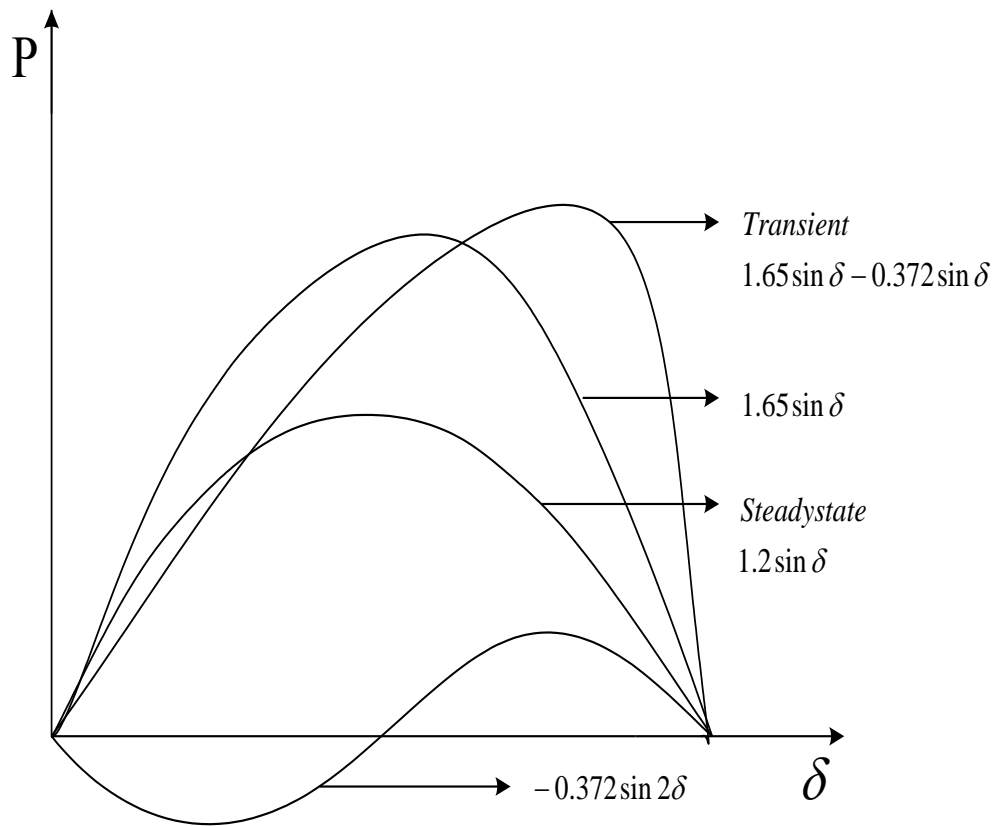
TRANSIENT



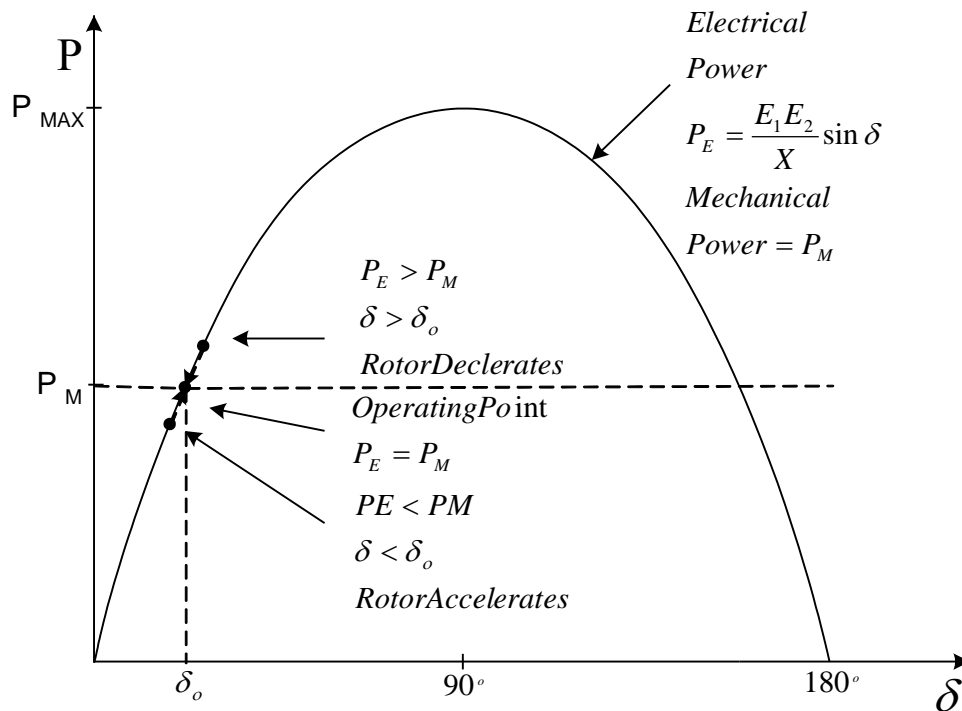
$$P = \frac{(1.15)(1.0)}{0.20 + 0.50} \sin \delta + \frac{1.0^2(0.20 - 0.96)}{2(0.70)(1.46)} \sin 2\delta$$

$$= 1.65 \sin \delta - 0.372 \sin 2\delta$$

KURVA P vs δ



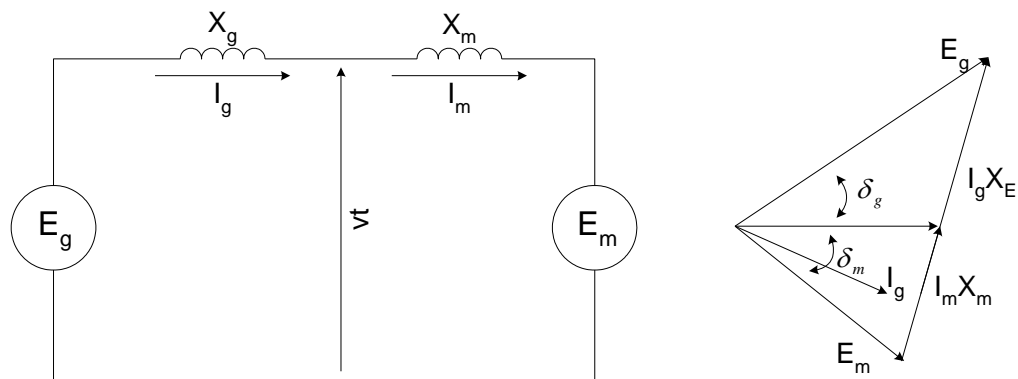
STABILITAS STEADY STATE



TITIK KERJA STEADY STATE ADALAH SUATU KEADAAN DIMANA DAYA LISTRIK YANG DIBANGKITKAN GENERATOR (PE) SEIMBANG DENGAN DAYA MEKANIS DARI TURBIN (PM).

PERUBAHAN SUDUT TITIK KERJA TERSEBUT (δ_0) AKAN MENGAKIBATKAN KETIDAKSEIMBANGAN DAYA YANG AKAN MEMPERCEPAT / MEMPERLAMBAT KECEPATAN ROTOR KE TITIK KERJA YANG BARU.

PERS.P vs δ :



$$P = \frac{E_g E_m}{X_{total}} \sin(\delta_g + \delta_m)$$

$$P_{max} = \frac{E_g E_m}{X_{total}}$$

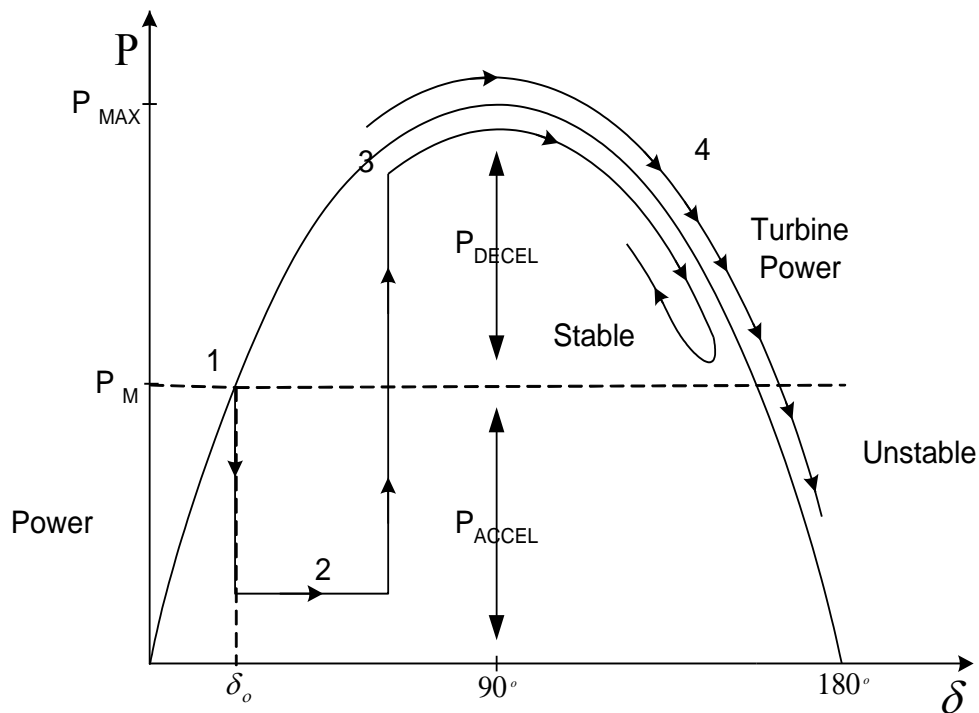
UNTUK MENAIKKAN BATAS STABILITAS :

- a. MEMPERBESAR E_g
- b. MEMPERBESAR E_m
- c. MEMPERKECIL REAKTANSI TOTAL SISTEM ANTARA E_g & E_m

⇒ MENGGUNAKAN DUA SALURAN PARALEL.

⇒ MENGGUNAKAN KAPASITOR SERI.

STABILITAS TRANSIENT



GAMBAR DIATAS MENUNJUKKAN PERILAKU SUATU GENERATOR DALAM KEADAAN GANGGUAN.

1. TITIK KERJA AWAL(SEBELUM TERJADI GANGGUAN)
2. TIMBUL GANGGUAN YANG MENAKIBATKAN DAYA OUTPUT GENERATOR TURUN SECARA DRASTIS. SELISIH ANTARA DAYA OUTPUT LISTRIK TERSEBUT DAN DAYA MEKANIS TURBIN MENAKIBATKAN ROTOR GENERATOR MENGALAMI PERCEPATAN, SEHINGGA SUDUT ROTOR / DAYA BERTAMBAH BESAR.
3. PADA SAAT GANGGUAN HILANG, DAYA OUTPUT GENERATOR PULIH KEMBALI PADA HARGA YANG SESUAI DENGAN KURVA P - δ DI ATAS.

4. SETELAH GANGGUAN HILANG, DAYA OUTPUT GENERATOR MENJADI LEBIH BESAR DARIPADA DAYA MEKANIS TURBIN. HAL INI MENGAKIBATKAN PERLAMBATAN PADA ROTOR GENERATOR. BILA TERDAPAT TORSI LAWAN YANG CUKUP SETELAH GANGGUAN HILANG UNTUK MENGIMBANGI PERCEPATAN YANG TERJADI SELAMA TERJADINYA GANGGUAN, GENERATOR AKAN STABIL SETELAH AYUNAN (SWING) YANG PERTAMA DAN KEMBALI KE TITIK KERJANYA DALAM WAKTU KIRA-KIRA 0.5 DETIK. BILA KOPEL LAWAN TERSEBUT TIDAK CUKUP BESAR, SUDUT ROTOR / DAYA AKAN TERUS BERTAMBAH BESAR SAMPAI SINKRONISASI DENGAN SISTEM HILANG.

TENAGA KINETIS ROTASI :

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2} J\omega^2 \text{ JOULES}$$

DIMANA

$$J = \text{JOULE SEC}^2/\text{RAD}^2$$

$$\omega = \text{RAD/SEC.}$$

DI DALAM ANALISIS SISTEM TENAGA, ENERGI TERSIMPAN (STORED ENERGY) DALAM MESIN BIASA DINYATAKAN DALAM MEGA JOULES DAN SUDUT DALAM ELECTRICAL DEGREES (DERAJAT LISTRIK). SEHINGGA MOMENTUM SUDUT (ANGULAR MOMENTUM) **M** DINYATAKAN SEBAGAI BERIKUT :

$$\frac{\text{MEGA JOULE-SECS}}{\text{ELECTRICAL DEGREES}} \quad \text{ATAU}$$

$$\frac{\text{MEGAWATTS}}{(\text{ELECTRICAL DEGREES/SEC}^2)}$$

DAN, KONSTANTA INERTIA **H** DINYATAKAN SEBAGAI BERIKUT :

$$\frac{\text{STORED MEGA JOULES}}{\text{RATING MESIN (MVA)}} =$$

MEGA JOULES

G

HUBUNGAN ANTARA M DAN H ADALAH SEBAGAI BERIKUT :

$$\text{K.E.} = \frac{1}{2} J \omega^2 \text{ MEGA JOULES}$$

$$= \frac{1}{2} M \omega \text{ MEGA JOULES}$$

$$= g H \text{ MEGA JOULES}$$

$$M = \frac{gH}{\frac{1}{2} \omega} = \frac{g}{180}$$

M BIASA DIGUNAKAN DALAM PERSAMAAN AYUNAN ROTOR (SWING)
YANG DINYATAKAN DALAM P DENGAN SATUAN MEGA WATTS.

H BIASA DIGUNAKAN DALAM PERSAMAAN AYUNAN ROTOR (SWING)
YANG DINYATAKAN DALAM TORQUE (KOPEL) DENGAN SATUAN
NEWTON – METERS.

M TERGANTUNG PADA RATING DAN TYPE MESIN

H NILAINYA SEDIKIT BERUBAH TERHADAP SIZE/KAPASITAS DAN TYPE
DARI MESIN.

(4 – 7 UNTUK TURBO-ALTERNATOR, 2-4 UNTUK HYDRO ALTERNATOR).

PERSAMAAN AYUNAN (SWING EQUATION)

UNTUK GERAK ROTASI BERLAKU :

$$J\ddot{\delta} + T_D \dot{\delta} + T_{\max} \sin \delta = T_{\text{shaft}}$$

DIMANA :

J : MOMEN INERSIA

T_D : KOEFISIEN REDAMAN

$T_{\max} \sin \delta$: ELECTRO MAGNETIC TORQUE YANG DIBANGKITKAN

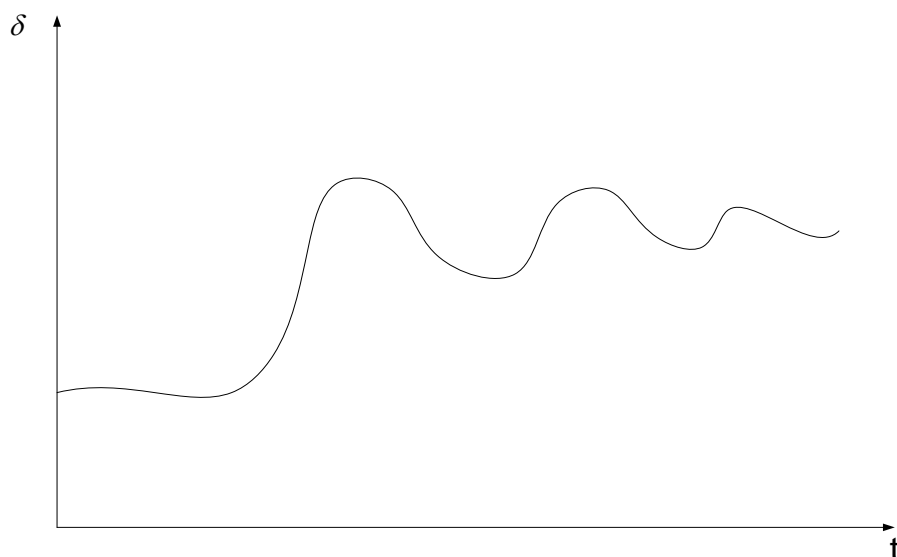
δ : TORQUE ATAU POWER ANGLE

BILA REDAMAN DIABAIKAN, MAKA PERSAMAAN DIATAS MENJADI :

$$J\ddot{\delta} + T_{\max} \sin \delta = T_{\text{shaft}} \text{ (DINYATAKAN DALAM TORQUE)}$$

PERSAMAAN SWING

$$M\ddot{\delta} + P_{\max} \sin \delta = P_{\text{shaft}} \text{ (DINYATAKAN DALAM POWER)}$$



KRITERIA LUAS SAMA (EQUAL AREA CRITERION)

PERSAMAAN SWING :

$$M\ddot{\delta} + P_{em} = P_{sh}$$

DIMANA,

$$P_{em} = P_{max} \sin \delta$$

PENYELESAIAN DARI PERSAMAAN DIATAS MERUPAKAN BENTUK OSILASI (UNTUK KEADAAN STABIL).

BILA UNTUK SUATU PERSAMAAN SWING DAPAT DITUNJUKKAN BAHWA NILAI DARI PADA δ MENCAPAI MAKSIMUM DAN KEMUDIAN BERKURANG, MAKA SISTEM DAPAT DIANGGAP STABIL.

MAKA HARUS DIPENUHI :

$$\frac{d\delta}{dt} = 0$$

UNTUK MAKSIMUM YANG PERTAMA

JADI PERSYARATAN UNTUK STABIL HARUS DIPENUHI $\frac{d\delta}{dt} = 0$

UNTUK SUATU PERSAMAAN SWING DARI SUATU SISTEM.

$$M\ddot{\delta} + P_{em} = P_{sh}$$

$$M\ddot{\delta} = P_{sh} - P_{em} \rightarrow \times \dot{\delta}$$

$$M\ddot{\delta} \dot{\delta} = (P_{sh} - P_{em}) \dot{\delta} \rightarrow \times \frac{2}{M}$$

$$2 \dot{\delta} \ddot{\delta} = \frac{2}{M} (P_{sh} - P_{em}) \dot{\delta}$$

$$\frac{d}{dt} \dot{\delta}^2 = \frac{2}{M} (P_{sh} - P_{em}) \frac{d\delta}{dt} \rightarrow \times dt$$

$$d\dot{\delta}^2 = \frac{2}{M} (P_{sh} - P_{em}) d\delta$$

$$\dot{\delta}^2 = \frac{2}{M} \int (P_{sh} - P_{em}) d\delta + K$$

ATAU

$$\dot{\delta}^2 = \frac{2}{M} \int_{\delta_0}^{\delta} (P_{sh} - P_{em})$$

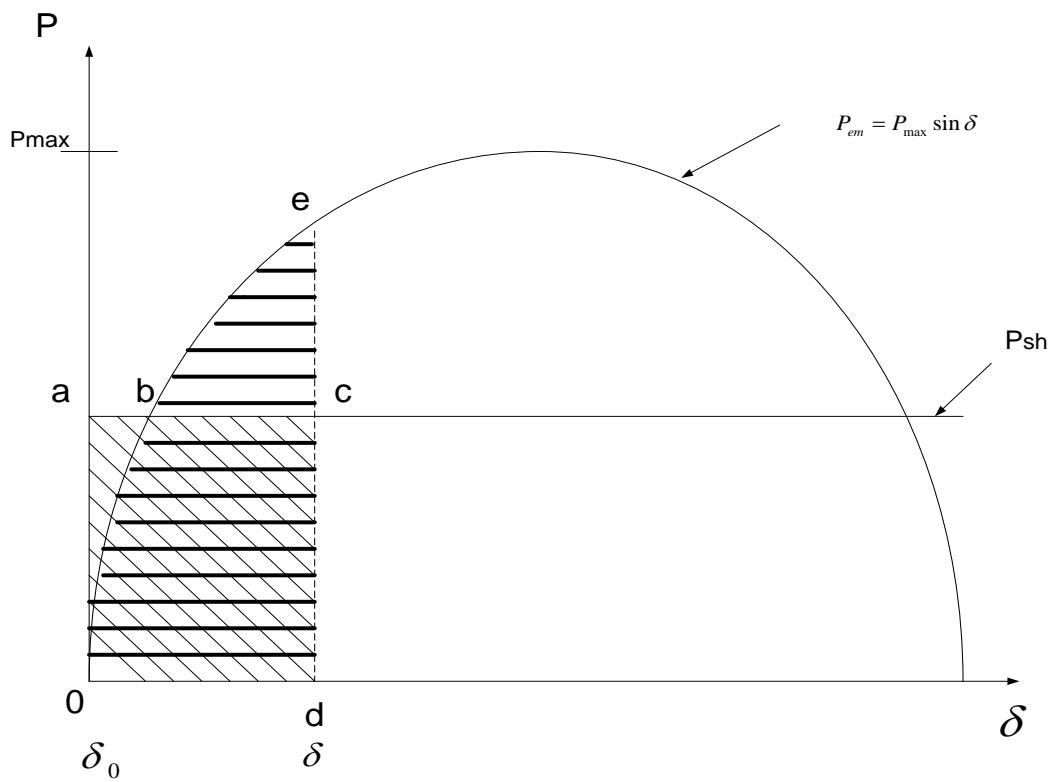
$$\dot{\delta} = \sqrt{\frac{2}{M} \int_{\delta_0}^{\delta} (P_{sh} - P_{em}) d\delta}$$

$$\dot{\delta} = 0$$

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (P_{sh} - P_{em}) d\delta = 0$$

$$\int_{\delta_0}^{\delta} P_{sh} d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta} P_{em} d\delta$$

LUAS SAMA



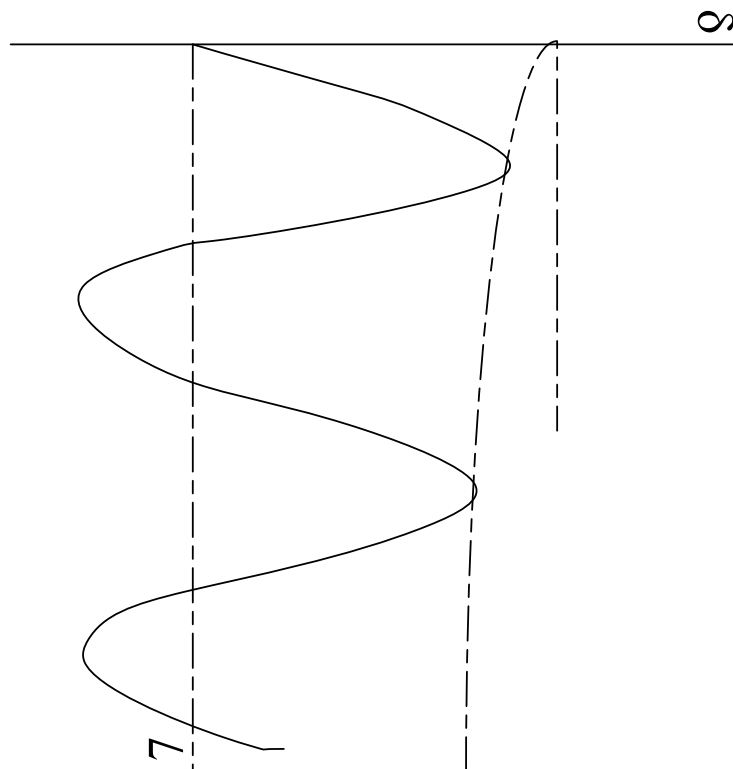
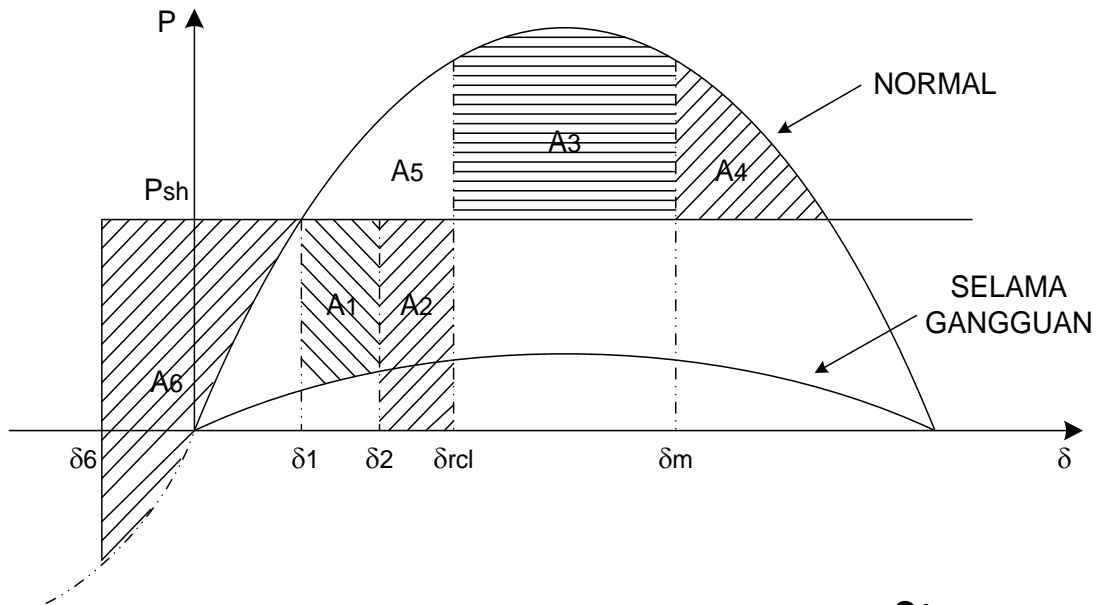
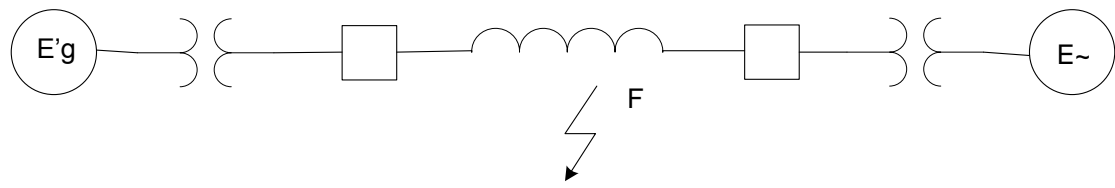
$$\int_{\delta_0}^{\delta} P_{sh} d\delta = \text{LUASAN a-b-c-d-0}$$

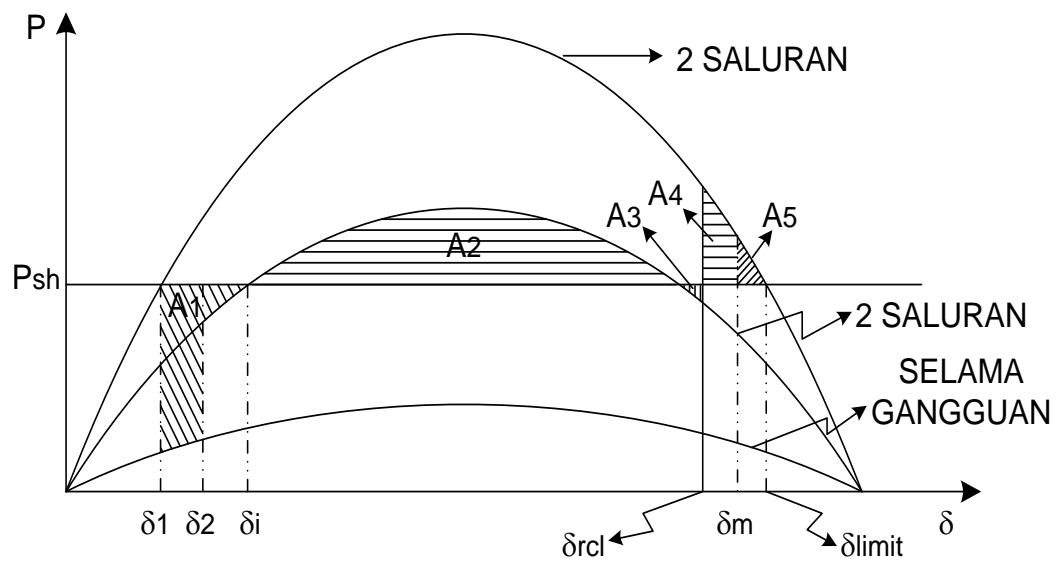
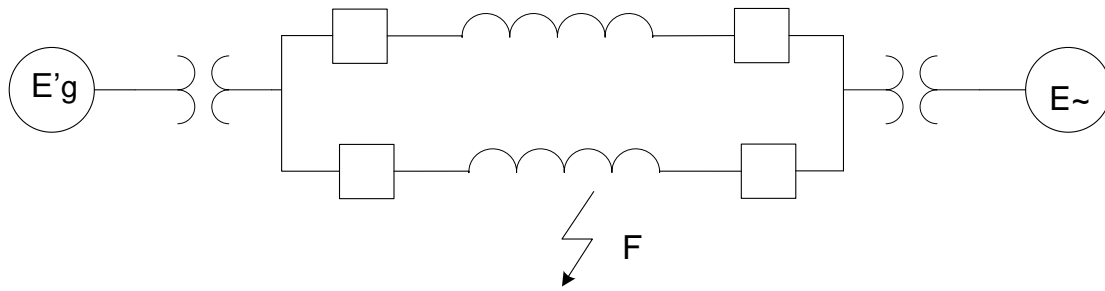
$$\int_{\delta_0}^{\delta} P_{em} d\delta = \text{LUASAN 0-b-e-c-d}$$

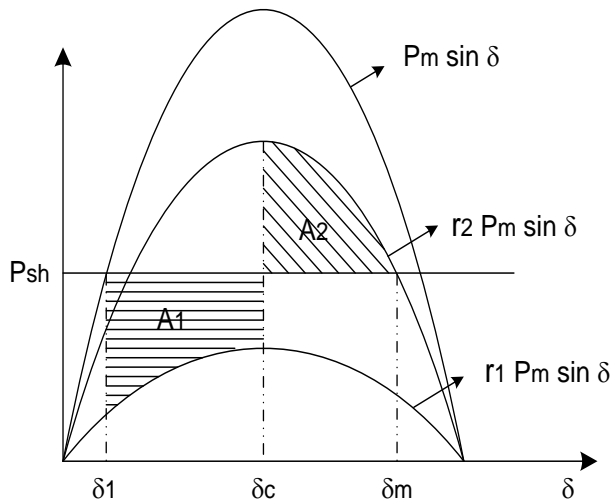
$$\int_{\delta_0}^{\delta} P_{sh} d\delta = \int_{\delta_0}^{\delta} P_{em} d\delta$$

MAKA : LUASAN a-b-0 = LUASAN b-c-e

PENERAPAN METODA LUAS SAMA







$$\begin{aligned}
 A_1 &= P_{sh}(\delta_c - \delta_1) - \int_{\delta_1}^{\delta_c} r_1 P_m \sin \delta \, d\delta \\
 &= P_{sh}(\delta_c - \delta_1) + r_1 P_m (\cos \delta_c - \cos \delta_1) \\
 A_1 &= \int_{\delta_c}^{\delta_m} r_2 P_m \sin \delta \, d\delta - P_{sh}(\delta_m - \delta_c) \\
 &= r_2 P_m (\cos \delta_c - \cos \delta_m) - P_{sh}(\delta_m - \delta_c)
 \end{aligned}$$

UNTUK STABIL HARUS DIPENUHI

$$A_1 = A_2$$

DIPEROLEH NILAI δ_c (SUDUT KRITIS)

$$\delta_c = \cos^{-1} \left\{ \frac{(P_{sh} / P_m)(\delta_m - \delta_1) + r_2 \cos \delta_m - r_1 \cos \delta_1}{(r_2 - r_1)} \right\}$$

CATATAN :

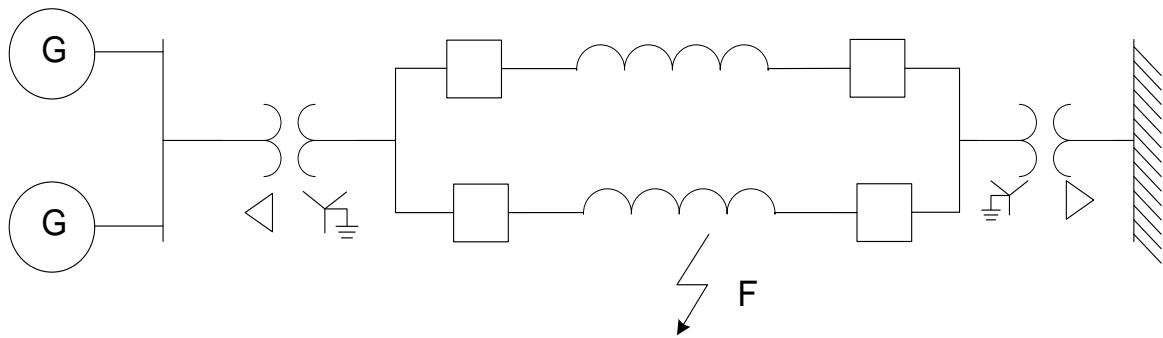
$$P_{sh} = P_m \sin \delta_1$$

$$P_{sh} = r_2 P_m \sin \delta_m$$

$$\delta_1 = \sin^{-1} \frac{P_{sh}}{P_m} \quad \delta_1 < \frac{\pi}{2}$$

$$\delta_m = \sin^{-1} \frac{P_{sh}}{R_2 P_m} \quad \delta_m < \frac{\pi}{2}$$

CONTOH :



GENERATOR : 2 x 30 MVA, 3 PHASA, 50 HZ
 $X_d = 63.8\%$, $X_d' = 25.4\%$, $X_2 = 28.9\%$
 (REAKTANSI EKIVALEN 2 GEN)

TRAFO : MASING-MASING 60 MVA, 3 PHASA, 50 HZ
 $X_1 = X_2 = X_0 = 8\%$

TRANSMISI : 66 KV
 SINGLE LINE : $X_1 = X_2 = 39.7 \Omega$, $X_0 = 138.2\Omega$
 DOUBLE LINES : $X_1 = X_2 = 19.8 \Omega$, $X_0 = 108.2\Omega$

INFINITY BUS : $E \sim = 0.95$ pu
 MENYERAP DAYA : 50 MW DENGAN pf : 1.0

PENYESELAIAN :

BASE MVA : 60 MVA

BASE KV : 66 KV_{L-L} ATAU 38.1 KV_{L-N} (TRANSMISI)

$$I_{BASE} = \frac{60.000}{\sqrt{3.55}} = 525 \text{ A}$$

$$Z_{BASE} = \frac{66^2}{60} = 72.6 \Omega$$

SALURAN TRANSMISI

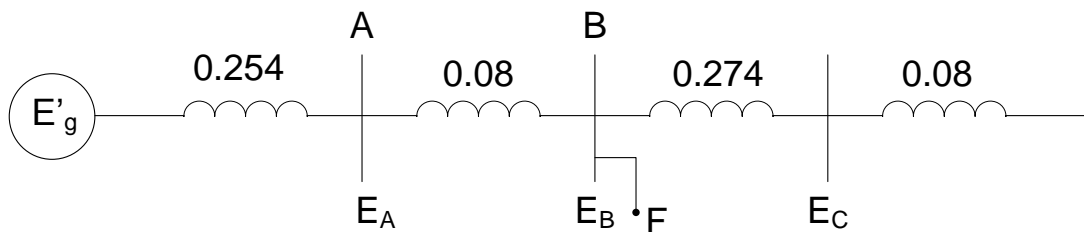
$$\text{SINGLE LINE} \quad : \quad X_1 = X_2 = \frac{39.7}{72.6} = 0.547 \text{ pu}$$

$$X_0 = \frac{138.2}{72.6} = 1.90 \text{ pu}$$

$$\text{DOUBLE LINES} \quad : \quad X_1 = X_2 = \frac{19.8}{72.6} = 0.274 \text{ pu}$$

$$X_0 = \frac{108.2}{72.6} = 1.49 \text{ pu}$$

SISTEM SEBELUM TERJADI GANGGUAN



$$\text{BEBAN} : 50 \text{ MW} = \frac{50}{60} = 0.833 \text{ pu}$$

$$I = \frac{0.833}{0.95} = 0.877 \angle 0^\circ \text{ pu (pf. = 1.0)}$$

$$E_C = 0.95 + 0.877(j0.08) = 0.95 + j0.072 = 0.95 \angle 4.2^\circ$$

$$E_B = 0.95 + 0.877(j0.354) = 0.95 + j0.31 = 1.004 \angle 18^\circ$$

$$E_A = 0.95 + 0.877(j0.434) = 0.95 + j0.381 = 1.023 \angle 22^\circ$$

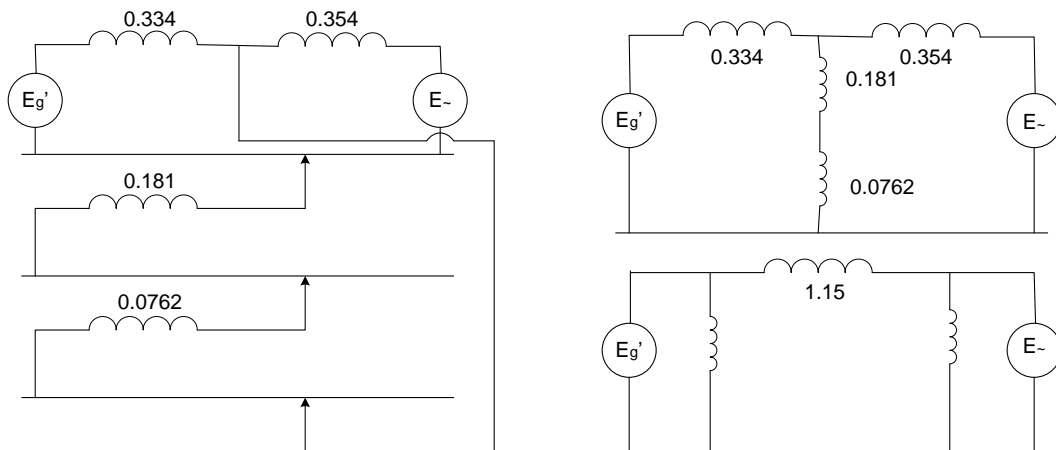
$$E_g' = 0.95 + 0.877(j0.688) = 0.95 + j0.603 = 1.124 \angle 32.4^\circ$$

PENENTUAN PERSAMAAN – PERSAMAAN KURVA P vs δ

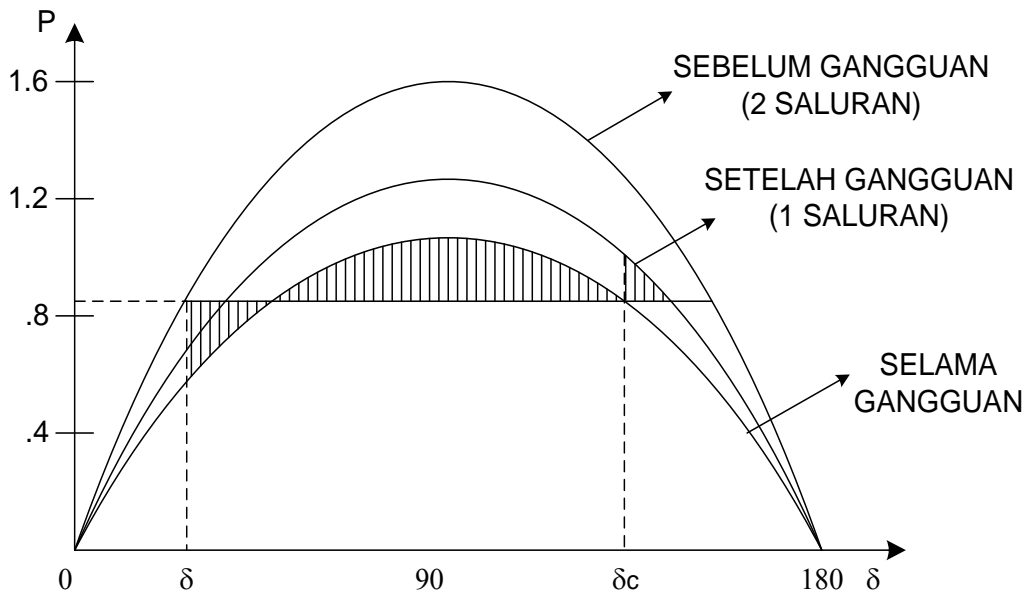
SEBELUM GANGGUAN TERJADI :

$$P = \frac{E'_g E_{\sim}}{X_{TOT}} \sin \delta = \frac{(1.124)(0.95)}{0.688} \sin \delta$$
$$= 1.55 \sin \delta$$

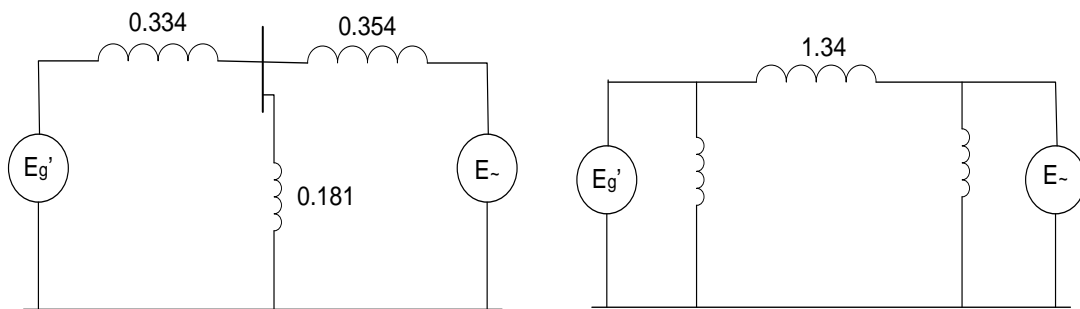
HUBUNG SINGKAT SATU PHASA KE TANAH



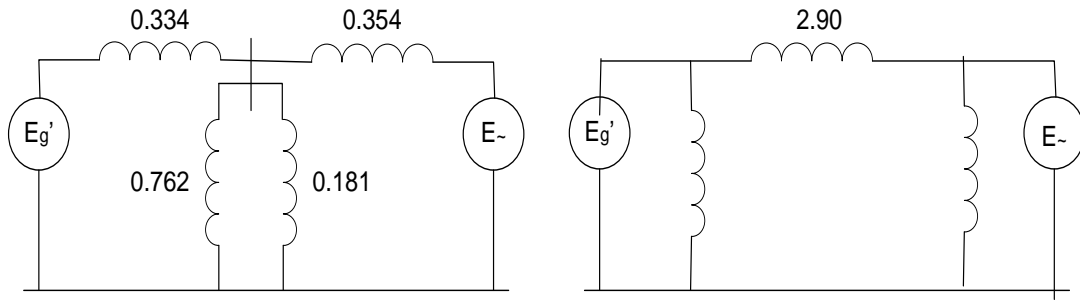
$$P = \frac{(1.124)(0.95)}{1.15} \sin \delta = 0.925 \sin \delta$$



HUBUNG SINGKAT ANTAR PHASA

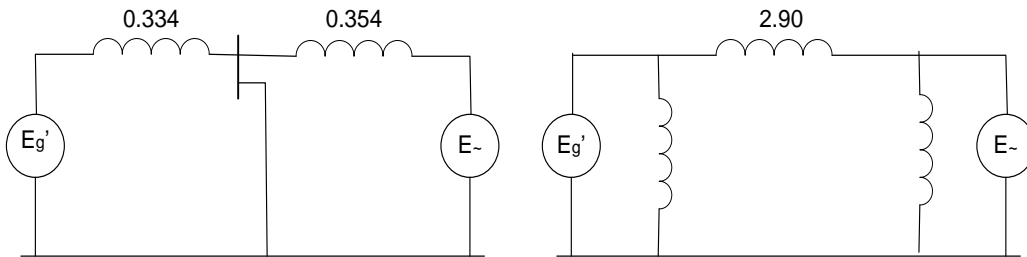


$$P = \frac{(1.124)(0.95)}{1.34} \sin \delta = 0.795 \sin \delta$$



$$P = \frac{(1.124)(0.95)}{2.90} \sin \delta = 0.367 \sin \delta$$

HUBUNG SINGKAT TIGA PHASA



$$P = \frac{(1.124)(0.95)}{\sim} \sin \delta = 0 \sin \delta$$