

Tabel 4.1. Data Saluran dan Transformator, semua nilai dalam pu, dengan dasar 230 KV dan 100 MVA

Rel ke rel	X	Y Shunt B
Transf. 1 – 4	0,022	-
Transf 2 – 5	0,040	-
Saluran 3 – 4	0,040	0,082
Saluran 3 – 5 (1)	0,047	0,098
Saluran 3 – 5 (2)	0,047	0,098
Saluran 4 – 5	0,110	0,226

Tabel 4.2. Data tentang rel dan nilai aliran beban pragangguan dalam pu, dengan dasar 230 KV dan 100 MVA

Rel	Tegangan	Pembangkitan	
		P	Q
1	1,030∠8,88 ⁰	1,500	0,712
2	1,020∠6,38 ⁰	1,850	0,298
3	1,000∠0 ⁰	---	---
4	1,018∠4,68 ⁰	---	---
5	1,011∠2,27 ⁰	---	---

4.2. Menentukan matriks jaringan

* Membentuk matriks reaktansi bus sebelum gangguan

Elemen-elemen matrik reaktansi dapat dicari sebagai berikut :

$$X_{11} = \frac{1}{Xd_{G1} + Xt_{14}} = \frac{1}{j0,067 + j0,022} = \frac{1}{j0,089} = -j11,236$$

$$X_{12} = X_{21} = 0,0$$

$$X_{13} = X_{31} = 0,0$$

$$X_{14} = X_{41} = -\frac{1}{Xd_{G1} + Xt_{14}} = -\frac{1}{j0,067 + j0,022} = -\frac{1}{j0,089} = j11,236$$

$$X_{15} = X_{51} = 0,0$$

$$X_{22} = \frac{1}{Xd_{G2} + Xt_{25}} = \frac{1}{j0,100 + j0,040} = \frac{1}{j0,140} = -j7,1429$$

$$X_{23} = X_{32} = 0,0$$

$$X_{24} = X_{42} = 0,0$$

$$X_{25} = X_{52} = -\frac{1}{Xd_{G2} + Xt_{25}} = -\frac{1}{j0,100 + j0,040} = -\frac{1}{j0,140} = j7,1429$$

$$\begin{aligned} X_{33} &= \frac{1}{X_{34}} + \frac{1}{X_{35(1)}} + \frac{1}{X_{35(2)}} + \frac{X_{shunt34}}{2} + \frac{X_{shunt35(1)}}{2} + \frac{X_{shunt35(2)}}{2} \\ &= \frac{1}{j0,04} + \frac{1}{j0,047} + \frac{1}{j0,047} + \frac{j0,082}{2} + \frac{j0,098}{2} + \frac{j0,098}{2} \\ &= -j25 - j21,276 - j21,276 + j0,041 + j0,049 + j0,049 \\ &= -j67,413 \end{aligned}$$

$$X_{34} = X_{43} = -\frac{1}{X_{34}} = -\frac{1}{j0,04} = j25$$

$$X_{35} = X_{53} = -\frac{1}{X_{35(1)}} - \frac{1}{X_{35(2)}} = -\frac{1}{j0,047} - \frac{1}{j0,047} = j42,55$$

$$\begin{aligned} X_{44} &= X_{11} + \frac{1}{X_{34}} + \frac{X_{shunt34}}{2} + \frac{1}{X_{45}} + \frac{X_{shunt45}}{2} \\ &= -j11,236 + \frac{1}{j0,04} + \frac{j0,082}{2} + \frac{1}{j0,11} + \frac{j0,226}{2} \\ &= -j11,236 - j25 + j0,041 - j9,091 + j0,113 \\ &= -j45,17 \end{aligned}$$

$$X_{45} = X_{54} = -\frac{1}{X_{45}} = -\frac{1}{j0,11} = j9,091$$

$$\begin{aligned} X_{55} &= X_{22} + \frac{1}{X_{35(1)}} + \frac{1}{X_{35(2)}} + \frac{1}{X_{45}} + \frac{X_{shunt35(1)}}{2} + \frac{X_{shunt35(2)}}{2} + \frac{X_{shunt45}}{2} \\ &= -j7,1429 + \frac{1}{j0,047} + \frac{1}{j0,047} + \frac{1}{j0,11} + \frac{j0,098}{2} + \frac{j0,098}{2} + \frac{j0,226}{2} \\ &= -j7,1429 - j21,27 - j21,27 - j9,091 + j0,049 + j0,049 + j0,113 \\ &= -j58,563 \end{aligned}$$

Tabel 4.3. Elemen matriks reaktansi sebelum gangguan

Rel	1	2	3	4	5
1	-j11,236	0,0	0,0	j11,236	0,0
2	0,0	-j7,1429	0,0	0,0	j7,1429
3	0,0	0,0	-j67,413	j25	j42,55
4	j11,236	0,0	j25	-j45,17	j9,091
5	0,0	j7,1429	j42,55	j9,091	-j58,563

* **Membentuk matriks reaktansi selama gangguan**

Selama gangguan, bus 4 terhubung singkat ke tanah. Baris dan kolom 4 pada $X_{\text{bus pre-gangguan}}$ dihilangkan, matriks admitansi bus selama gangguan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 X &= \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{15} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{25} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{35} \\ X_{51} & X_{52} & X_{53} & X_{55} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -j11,236 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & -j7,1429 & 0,0 & j7,1429 \\ 0,0 & 0,0 & -j67,413 & j42,55 \\ 0,0 & j7,1429 & j42,55 & -j58,563 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\text{Rumus } X_{\text{bus-selama gangguan}} = x_{11} - x_{12} \left(\frac{1}{x_{22}} \right) x_{21}$$

$$\text{Atau matriks bus diatas dibagi menjadi sub matriks } x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \end{bmatrix}$$

Dimana elemen-elemen sub matriks tersebut yaitu :

$$x_{11} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 \\ 0 & -j7,1429 & 0 \\ 0 & 0 & -j67,413 \end{bmatrix}$$

$$x_{12} = \begin{bmatrix} X_{15} \\ X_{25} \\ X_{35} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ j7,1429 \\ j42,55 \end{bmatrix}, \quad x_{22} = [x_{55}] = [-j58,563]$$

$$x_{21} = [X_{51} \quad X_{52} \quad X_{53}] = [0 \quad j7,1429 \quad j42,55]$$

$$X_{\text{bus selama gangguan}} = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 \\ 0 & -j7,1429 & 0 \\ 0 & 0 & -j67,413 \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} 0 \\ j7,1429 \\ j42,55 \end{bmatrix} \left(\frac{1}{-j58,563} \right) [0 \quad j7,1429 \quad j42,55]$$

Setelah dihitung maka dapat ditulis hasilnya :

$X_{\text{bus-selamagangguan}}$:

$$= \begin{bmatrix} -j11,2360 & 0 & 0 \\ (11,236 \angle -90^\circ) & 0 & 0 \\ 0 & -j6,2755 & j5,1668 \\ 0 & (6,2755 \angle -90^\circ) & (5,1668 \angle 90^\circ) \\ 0 & j5,1668 & -j36,635 \\ 0 & (5,1668 \angle 90^\circ) & (36,635 \angle -90^\circ) \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan harga $X_{\text{bus selama gangguan}}$ di atas, maka dapat dicari harga sudut daya persatuan dalam keadaan gangguan yaitu :

$$P_{e1} = 0$$

$$\begin{aligned} P_{e2} &= |E_2'|^2 |X_{22}| \cos \Theta_{22} + |E_2'| |E_3'| |X_{23}| \cos(\Theta_{23} - \delta_2) \\ &= (1,065)^2 (6,275) \cos(-90) + (1,065)(1,0)(5,1668) \cos(90^\circ - \delta_2) \\ &= 5,5 \sin \delta_2 \end{aligned}$$

Secara umum persamaan ayunan resultan pada setiap keadaan adalah :

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{180f}{H} [P_m - P_e - P_{maks} \sin(\delta - \gamma)]$$

Sehingga selama berlangsungnya gangguan pada sistem tersebut, persamaan ayunan untuk kedua generator bus-1 dan bus-2 adalah :

$$\frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \frac{180f}{H_1} (P_{m1} - P_{e1}) = \frac{180f}{H_1} P_{a1}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{180f}{11,2} (1,5) \text{ derajat listrik/dtk}^2 \\
\frac{d^2 \delta_2}{dt^2} &= \frac{180f}{H_2} (P_{m2} - P_{e2}) = \frac{180f}{H_2} P_{a2} \\
&= \frac{180f}{8,0} \{ \overbrace{1,85}^{pm} - [0 + \overbrace{5,5}^{Pmaks} \cos(90 - \delta_2)] \} \\
&= \frac{180f}{8,0} [\underbrace{1,85}_{P_m - P_e} - \underbrace{5,5}_{P_{maks}} \sin \delta_2] \text{ derajat list / dtk}^2
\end{aligned}$$

***Membentuk matriks admitansi bus setelah gangguan dihilangkan**

Bila gangguan diputuskan, saluran 4 dan 5 dihilangkan.

X_{bus} sebelum gangguan harus diubah lagi, yaitu X_{45} dan $X_{54} = 0$, begitu juga hilangkan admitansi seri dan susceptansi kapasitif setengah saluran pada saluran 4 dan 5 dari elemen-elemen X_{44} dan X_{55} . Harga elemen-elemen X_{44} dan X_{55} dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
X_{44} &= X_{11} + \frac{1}{X_{34}} + \frac{X_{shunt34}}{2} \\
&= -j11,236 + \frac{1}{j0,04} + \frac{j0,082}{2} \\
&= -j11,236 - j25 + j0,041 = -j36,2 \\
X_{55} &= X_{22} + \frac{1}{X_{35(1)}} + \frac{1}{X_{35(2)}} + \frac{X_{shunt35(1)}}{2} + \frac{X_{shunt35(2)}}{2} \\
&= -j7,1429 + \frac{1}{j0,047} + \frac{1}{j0,047} + \frac{j0,098}{2} + \frac{j0,098}{2} \\
&= -j7,1429 - j21,276 - j21,276 + j0,049 + j0,049 \\
&= -j49,6
\end{aligned}$$

Sehingga matriks admitansi bus X_{bus} -sebelum gangguan diubah sebagai berikut :

$$X_a = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 & j11,236 & 0 \\ 0 & -j7,1429 & 0 & 0 & j7,1429 \\ 0 & 0 & -j67,413 & j25 & j42,55 \\ j11,236 & 0 & j25 & -j36,2 & 0 \\ 0 & j7,1429 & j42,55 & 0 & -j49,6 \end{bmatrix}$$

Dari matriks X_a di atas, baris dan kolom 5 dihilangkan di dapat matriks baru dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$x_a = x_{11} - x_{12} \left(\frac{1}{x_{22}} \right) x_{21}$$

Atau matriks di atas dibagi menjadi sub matriks yaitu :

$$X_a = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \end{bmatrix}$$

Dimana :

$$X_{11} = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 & j11,236 \\ 0 & -j7,1429 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -j67,413 & j25 \\ j11,236 & 0 & j25 & -j36,2 \end{bmatrix}$$

$$X_{12} = \begin{bmatrix} 0 \\ j7,1429 \\ j42,55 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad X_{21} = [0 \quad j7,1429 \quad j42,55 \quad 0]$$

$$X_{22} = [-j49,6]$$

$$\text{Maka : } X_a = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 & j11,236 \\ 0 & -j7,1429 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -j67,413 & j25 \\ j11,236 & 0 & j25 & -j36,2 \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} 0 \\ j7,1429 \\ j42,55 \\ 0 \end{bmatrix} \left(\frac{1}{-j49,6} \right) [0 \quad j7,1429 \quad j42,55 \quad 0]$$

$$\text{Atau : } X_a = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 & j11,236 \\ 0 & -j6,123 & j6,078 & 0 \\ 0 & j6,078 & -j31,2 & j25 \\ j11,236 & 0 & j25 & -j36,195 \end{bmatrix}$$

Dari matriks X_a diatas dapat dicari matriks admitansi bus setelah gangguan yaitu dengan menghilangkan baris dan kolom ke-4 dengan menggunakan persamaan sbb:

$$X_{\text{bus stl-gangguan}} = x_{b11} - x_{b12} \left[\frac{1}{y_{b22}} \right] x_{b21}$$

$$\text{Dimana : } X_{b11} = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 \\ 0 & -j6,123 & j6,078 \\ 0 & j6,078 & -j31,2 \end{bmatrix}$$

$$X_{b12} = \begin{bmatrix} j11,236 \\ 0 \\ j25 \end{bmatrix}, \quad X_{b21} = [j11,236 \quad 0 \quad j25]$$

$$X_{b22} = [-j36,2]$$

$$X_{\text{bus stl gangguan}} = \begin{bmatrix} -j11,236 & 0 & 0 \\ 0 & -j6,123 & j6,078 \\ 0 & j6,078 & -j31,2 \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} j11,236 \\ 0 \\ j25 \end{bmatrix} \left[\frac{1}{-j36,2} \right] [j11,236 \quad 0 \quad j25]$$

$$X_{\text{busstl-gangguan}} = \begin{bmatrix} -j14,72 & 0 & -j7,75 \\ (14,72 \angle -90^\circ) & 0 & (7,75 \angle -90^\circ) \\ 0 & -j6,123 & j6,078 \\ -j7,75 & j6,078 & -j48,45 \\ (7,75 \angle -90^\circ) & (6,078 \angle 90^\circ) & (48,45 \angle -90^\circ) \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan harga $X_{\text{bus stl-gangguan}}$ di atas, maka dapat dicari harga sudut daya persatuan dalam keadaan setelah gangguan yaitu :

$$P_{e1} = |E_1'|^2 |X_{11}| \cos \Theta_{11} + |E_1'| |E_3'| |X_{13}| \cos(\Theta_{13} - \delta_{13})$$

$$= (1,0824)^2 (14,72) \cos(-90) + (1,0824)(1,0)(7,75) \cos(-90^\circ - \delta_1)$$

$$= 8,39 \sin \delta_1$$

$$P_{e2} = |E_2'|^2 |X_{22}| \cos \Theta_{22} + |E_2'| |E_3'| |X_{23}| \cos(\Theta_{23} - \delta_2)$$

$$= (1,065)^2 (6,123) \cos(-90^\circ) + (1,065)(1,0)(6,078) \cos(90^\circ - \delta_2)$$

$$= 6,473 \sin \delta_2$$

Untuk periode setelah gangguan, persamaan ayunan yang berlaku adalah :

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} &= \frac{180f}{H_1} (P_{m1} - P_{e1}) = \frac{180f}{H_1} P_{a1} \\ &= \frac{180f}{11,2} [1,5 - 8,39 \cos(-90^\circ - \delta_1)] \text{ derajat listrik/dtk}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} &= \frac{180f}{H_2} (P_{m2} - P_{e2}) = \frac{180f}{H_2} P_{a2} \\ &= \frac{180f}{8,0} [1,85 - 6,473 \cos(90 - \delta_2^\circ)] \text{ derajat list / dtk}^2 \end{aligned}$$

4.3. Persamaan Ayunan Sistem Sebelum, Ketika dan Sesudah Gangguan

Persamaan umum yang dipakai untuk menggambarkan dinamika sistem sebelum, ketika dan sesudah gangguan adalah persamaan ayunan (*swing equation*). Persamaan ayunan dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{d^2 \delta_i}{dt^2} = \frac{180f}{H_i} [P_{mi} - P_{ei}]$$

* Arus yang mengalir ke infinite bus adalah :

$$I_1 = \frac{(P_1 + jQ_1)^*}{V_1^*} = \frac{1,50 - j0,712}{1,030 \angle -8,88^\circ} = 1,617 \angle -16,52^\circ$$

$$\text{Dan } I_2 = \frac{(P_2 + jQ_2)^*}{V_2^*} = \frac{1,850 - j0,298}{1,020 \angle -6,38^\circ} = 1,837 \angle -2,771^\circ$$

$$E' = Vt + jXd' I$$

$$\text{Dengan: } E'_1 = 1,030 \angle 8,88^\circ + j0,067 \times 1,617 \angle -16,52^\circ = 1,0824 \angle 14,055^\circ$$

$$E'_2 = 1,020 \angle 6,38^\circ + j0,10 \times 1,837 \angle -2,771^\circ = 1,065 \angle 16,19^\circ$$

Pada rel tak-hingga :

$$E'_3 = E_3 = 1,00 \angle 0,0^\circ$$

$$\text{Dan karena itu : } \delta_{13} = \delta_1 \text{ dan } \delta_{23} = \delta_2$$

$$\text{Kondisi awal : } \delta_1 = 14,055^\circ, \delta_2 = 16,19^\circ$$

$$\omega_1 = 0, \quad \omega_2 = 0$$

Dari data di atas dapat di cari persamaan ayunannya yaitu :

$$\frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \frac{180f}{H_1} a(\sin \delta_{10} - \sin \delta_1)$$

$$\text{dan } \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} = \frac{180f}{H_2} b(\sin \delta_{20} - \sin \delta_2)$$

Dengan menggunakan harga $X_{\text{bus stl-gangguan}}$ di atas, maka nilai δ_{10} dan δ_{20}

$$\text{dapat dicari : } P_{m1} = a \sin \delta_{10} = |E_1' \| E_3' \| X_{13}| \sin \delta_{10}$$

$$a = |E_1' \| E_3' \| X_{13}| = (1,0824)(1,0)(7,75) = 8,39$$

$$\delta_{10} = \sin^{-1} \left(\frac{1,5}{|E_1' \| E_3' \| X_{13}|} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{1,5}{(1,0824)(1,0)(7,75)} \right] = 10,3 \text{ deg}$$

$$= 0,179 \text{ rad}$$

$$P_{m2} = b \sin \delta_{20} = |E_2' \| E_3' \| X_{23}| \sin \delta_{20}$$

$$b = |E_2' \| E_3' \| X_{23}| = (1,065)(1,0)(6,078) = 6,473$$

$$\delta_{20} = \sin^{-1} \left(\frac{1,85}{|E_2' \| E_3' \| X_{23}|} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{1,85}{(1,065)(1,0)(6,078)} \right] = 16,6 \text{ deg}$$

$$= 0,2896 \text{ rad}$$

4.4. Pembuatan Fungsi Lyapunov

Sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya, fungsi Lyapunov diimplementasikan untuk sistem setelah gangguan. Untuk membuat fungsi Lyapunov, sistem setelah gangguan terlebih dahulu dikonversikan menjadi persamaan diferensial orde satu. Persamaan diferensial orde satu yang didapat adalah sebagai berikut :

$$\dot{x}_1 = x_3 \quad \text{dan} \quad \dot{x}_2 = x_4$$

$$\dot{x}_3 = \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \frac{180f}{H_1} a(\sin \delta_{10} - \sin \delta_1)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} = \frac{180f}{H_2} b(\sin \delta_{20} - \sin \delta_2)$$

δ_{10} dan δ_{20} adalah menyatakan titik kesetimbangan stabil dari persamaan sistem ketika gangguan (sudut pemutus kritis) :

$$\begin{aligned}\delta_1 &= x_1 + \delta_{10} \\ \delta_2 &= x_2 + \delta_{20}\end{aligned}$$

$$\text{Maka : } \sin \delta_{10} - \sin \delta_1 = \sin \delta_{10} - \sin(x_1 + \delta_{10}) = 0$$

$$x_1 + \delta_{10} = \pi - \delta_{10} \rightarrow x_1 = \pi - 2\delta_{10} = 180 - (2)(10,3) = 159,4 = 2,78\text{rad}$$

$$\sin \delta_{20} - \sin \delta_2 = \sin \delta_{20} - \sin(x_2 + \delta_{20}) = 0$$

$$x_2 + \delta_{20} = \pi - \delta_{20} \rightarrow x_2 = \pi - 2\delta_{20} = 180 - (2)(16,6) = 146,8 = 2,56\text{rad}$$

Terhadap persamaan ini, fungsi Lyapunov yang didapat adalah :

$$\begin{aligned}V(x) &= \frac{1}{2} \frac{H_1}{\pi f} x_3^2 + \frac{1}{2} \frac{H_2}{\pi f} x_4^2 + a[\cos \delta_{10} - \cos(x_1 + \delta_{10}) - x_1 \sin \delta_{10}] \\ &+ b[\cos \delta_{20} - \cos(x_2 + \delta_{20}) - x_2 \sin \delta_{20}]\end{aligned}$$

4.5. Penentuan Batas Kestabilan V_{cr}

Setelah fungsi Lyapunov diketahui maka langkah berikutnya adalah menentukan batas daerah kestabilan yang dinyatakan dengan V_{cr} . Nilai V_{cr} didapat pada saat $V_x = V_{cr}$, dengan mensubstitusi x_1, x_2, x_3, x_4 dengan rumusan V_x diatas akan diperoleh :

$$\begin{aligned}V_{cr} &= \frac{1}{2} \frac{11,2}{(3,14)(60)} (0)^2 + \frac{1}{2} \frac{8}{(3,14)(60)} (0)^2 + 8,39[\cos(0,196) - \cos(2,78 + 0,196)] \\ &- 2,78 \sin 0,196] + 6,473[\cos(0,2896) - \cos(2,56 + 0,2896) - 2,56 \sin 0,2896] \\ V_{cr} &= 19,6326\end{aligned}$$

Dengan memasukan beberapa nilai besaran Lyapunov di atas pada persamaan Lyapunov dan menjalankannya dengan bantuan program MatLab, maka akan didapat tabel kestabilan mesin majemuk dengan 2 buah generator. M-file simulasinya dapat dilihat pada lampiran-1

4.6. Penentuan Kestabilan Sistem dan Waktu Pemutusan kritis t_{cr}

Untuk menentukan kestabilan sistem di atas, dapat dilihat dari hasil kerja simulasi yang ditampilkan pada tabel-4.4. berikut dan M-filenya dapat dilihat pada lampiran-2 :

Tabel-4.4. Hasil Perhitungan Dengan Metode Lyapunov

HARGA KESTABILAN LYAPUNOV DENGAN HARGA DELTA1(X1),DELTA2(X2),OMEGA1(X3)OMEGA2(X4) PADA MODEL MULTI MACHINE INFINITE BUS						
WAKTU !	x1 !	x2 !	x3 !	x4 !	VL !	VL<=Vcr
(detik)	(rad)	(rad)	!(rad/dtk)	!(rad/dtk)	(satuan)	(kondisi)
Waktu pemutusan (detik) = 0.2						
! 0.00	! 0.000	! 0.000	! 0.000	! 0.000	! 0.000	! Stabil
! 0.01	! 0.001	! -0.004	! 0.252	! -0.809	! 0.050	! Stabil
! 0.02	! 0.005	! -0.016	! 0.505	! -1.621	! 0.199	! Stabil
! 0.03	! 0.011	! -0.036	! 0.757	! -2.439	! 0.451	! Stabil
! 0.04	! 0.020	! -0.065	! 1.010	! -3.264	! 0.810	! Stabil
! 0.05	! 0.032	! -0.102	! 1.262	! -4.098	! 1.283	! Stabil
! 0.06	! 0.045	! -0.147	! 1.515	! -4.941	! 1.879	! Stabil
! 0.07	! 0.062	! -0.201	! 1.767	! -5.794	! 2.605	! Stabil
! 0.08	! 0.081	! -0.263	! 2.020	! -6.652	! 3.473	! Stabil
! 0.09	! 0.102	! -0.334	! 2.272	! -7.511	! 4.488	! Stabil
! 0.10	! 0.126	! -0.413	! 2.524	! -8.366	! 5.657	! Stabil
! 0.11	! 0.153	! -0.501	! 2.777	! -9.206	! 6.978	! Stabil
! 0.12	! 0.182	! -0.597	! 3.029	! -10.020	! 8.445	! Stabil
! 0.13	! 0.213	! -0.701	! 3.282	! -10.793	! 10.044	! Stabil

! 0.14 ! 0.247 ! -0.813 ! 3.534 ! -11.510 ! 11.750 ! Stabil
 ! 0.15 ! 0.284 ! -0.931 ! 3.787 ! -12.151 ! 13.528 ! Stabil
 ! 0.16 ! 0.323 ! -1.055 ! 4.039 ! -12.697 ! 15.334 ! Stabil
 ! 0.17 ! 0.365 ! -1.185 ! 4.292 ! -13.128 ! 17.117 ! Stabil
 ! 0.18 ! 0.409 ! -1.318 ! 4.544 ! -13.426 ! 18.821 ! Stabil
 ! 0.19 ! 0.456 ! -1.453 ! 4.797 ! -13.575 ! 20.391 ! Tidak Stabil

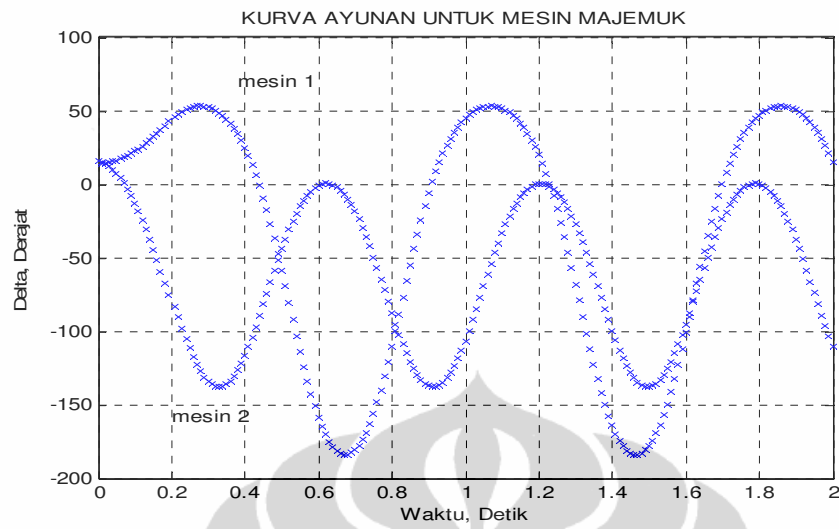
-----Waktu Pemutusan-----

4.7. Perbandingan hasil simulasi dengan metode konvensional

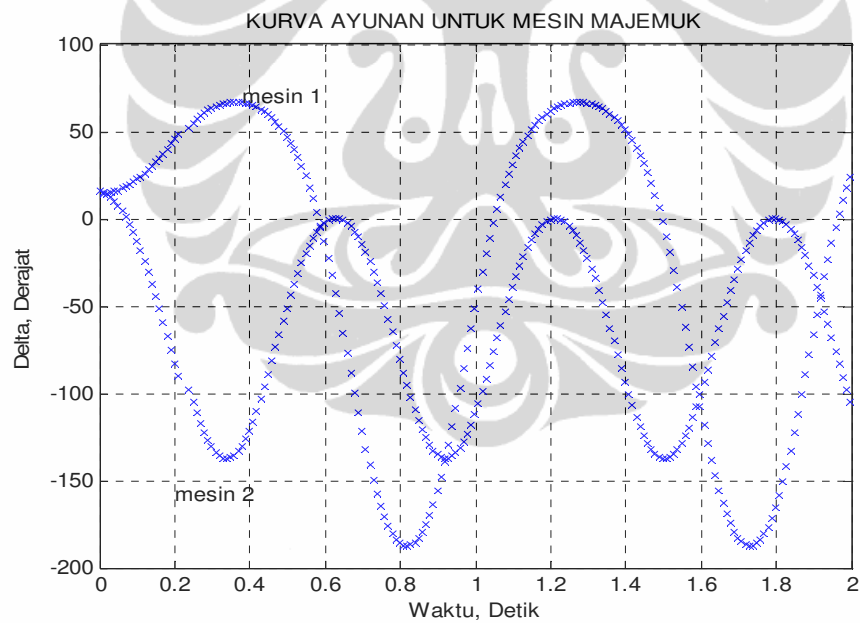
Pengerjaan metode Konvensional simulasinya mengikuti algoritma sebagai berikut :

1. Tentukan tegangan yang ada pada infinite bus.
2. Dari data tersebut dapat ditentukan kondisi awal besarnya sudut daya dan kecepatan sudut masing-masing generator.
3. Bentuk matrik reaktansi bus sebelum gangguan.
4. Bentuk juga matriks reaktansi bus selama gangguan dari data reaktansi ini dapat dicari persamaan ayunan selama gangguan.
5. Bentuk matriks setelah gangguan dari data reaktansi ini dapat dicari persamaan ayunan setelah gangguan.
6. Dengan menggunakan salah satu metode konvensional umum dapat ditampilkan perubahan sudut daya dan besarnya kecepatan sudut selama setting simulasi waktu pemutusan yang kita simulasikan.
7. Jikalau grafik kurva yang ditampilkan masih dalam kondisi stabil maka coba disimulasikan waktu pemutusan yang lebih lama sampai muncul grafik kurva tidak stabil simulasi waktu ini disebut t_{critis} .

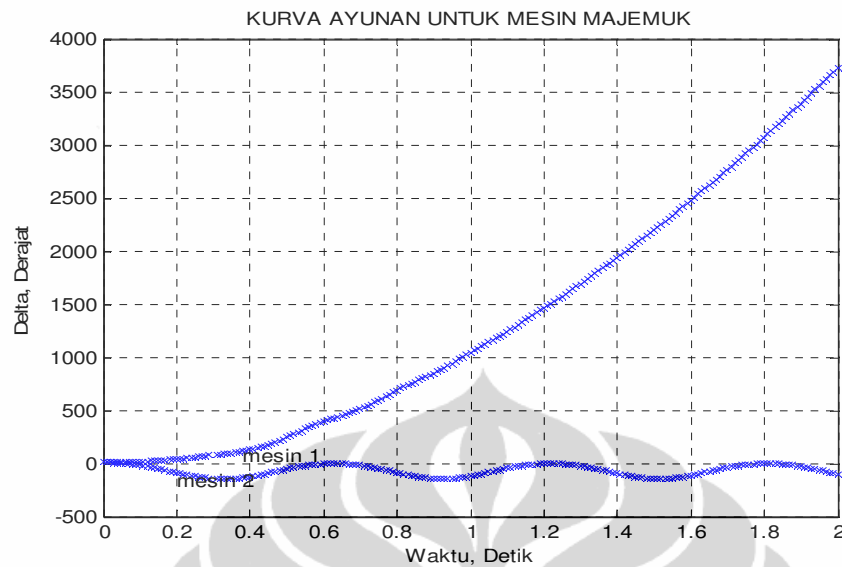
Lebih lanjut dalam simulasi kestabilan sistem tenaga listrik, maka disini dicoba untuk menampilkan perbandingan hasil perhitungannya dengan metode konvensional, yang mana daerah kestabilannya dapat dilihat dari kurva kestabilan hasil kerja simulasi dengan menggunakan MAT-LAB yaitu untuk gangguan yang diputuskan pada 0,2 ; 0,229 dan 0,23 detik:



Gambar.4.2.Kurva ayunan dengan gangguan yang diputuskan Pada 0,2detik



Gambar.4.3.Kurva ayunan dengan gangguan yang diputuskan Pada 0,229detik



Gambar.4.4.Kurva ayunan dengan gangguan yang diputuskan Pada 0,23detik

Hasil simulasi dengan metode ini dapat dilihat pada tabel berikut sedang M-file metode ini dapat dilihat pada lampiran-2:

Tabel-4.5 Hasil Perhitungan Dengan Metode Konvensional

HARGA DELTA DAN OMEGA MELALUI PENYELESAIAN SECARA NUNERIK DENGAN METODE KONVENSIONAL

! WAKTU ! DELTA 1 ! DELTA 2 ! OMEGA 1 ! OMEGA2 !
 ! (detik) ! (derajat) ! (derajat) ! (rad / dtk) ! (rad / dtk) !

 Waktu pemutusan (detik) = 0.22

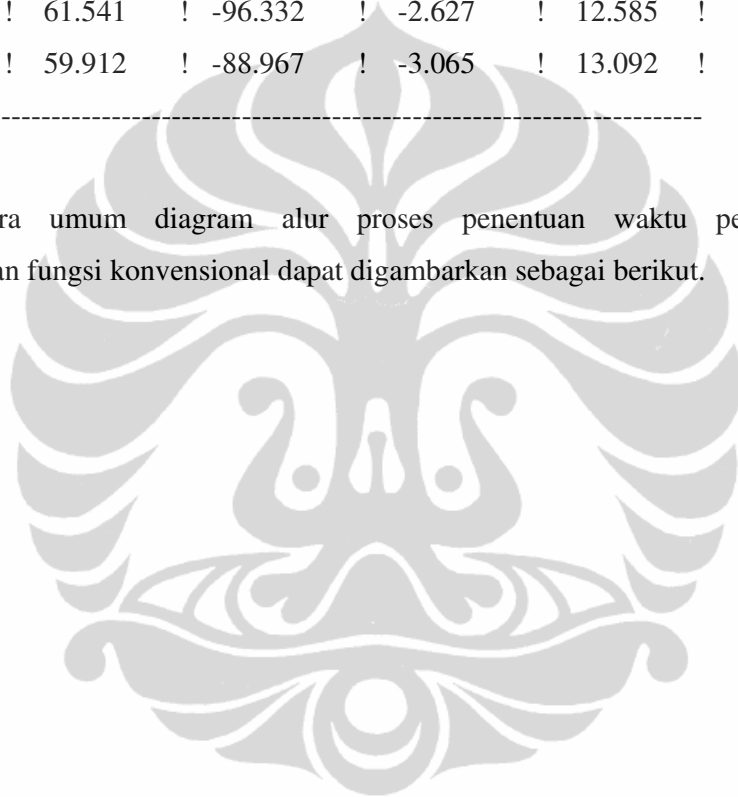
!	0.00	!	14.060	!	16.188	!	0.000	!	0.000	!
!	0.01	!	14.132	!	15.956	!	0.252	!	-0.809	!
!	0.02	!	14.349	!	15.260	!	0.505	!	-1.621	!
!	0.03	!	14.711	!	14.097	!	0.757	!	-2.439	!
!	0.04	!	15.217	!	12.464	!	1.010	!	-3.264	!

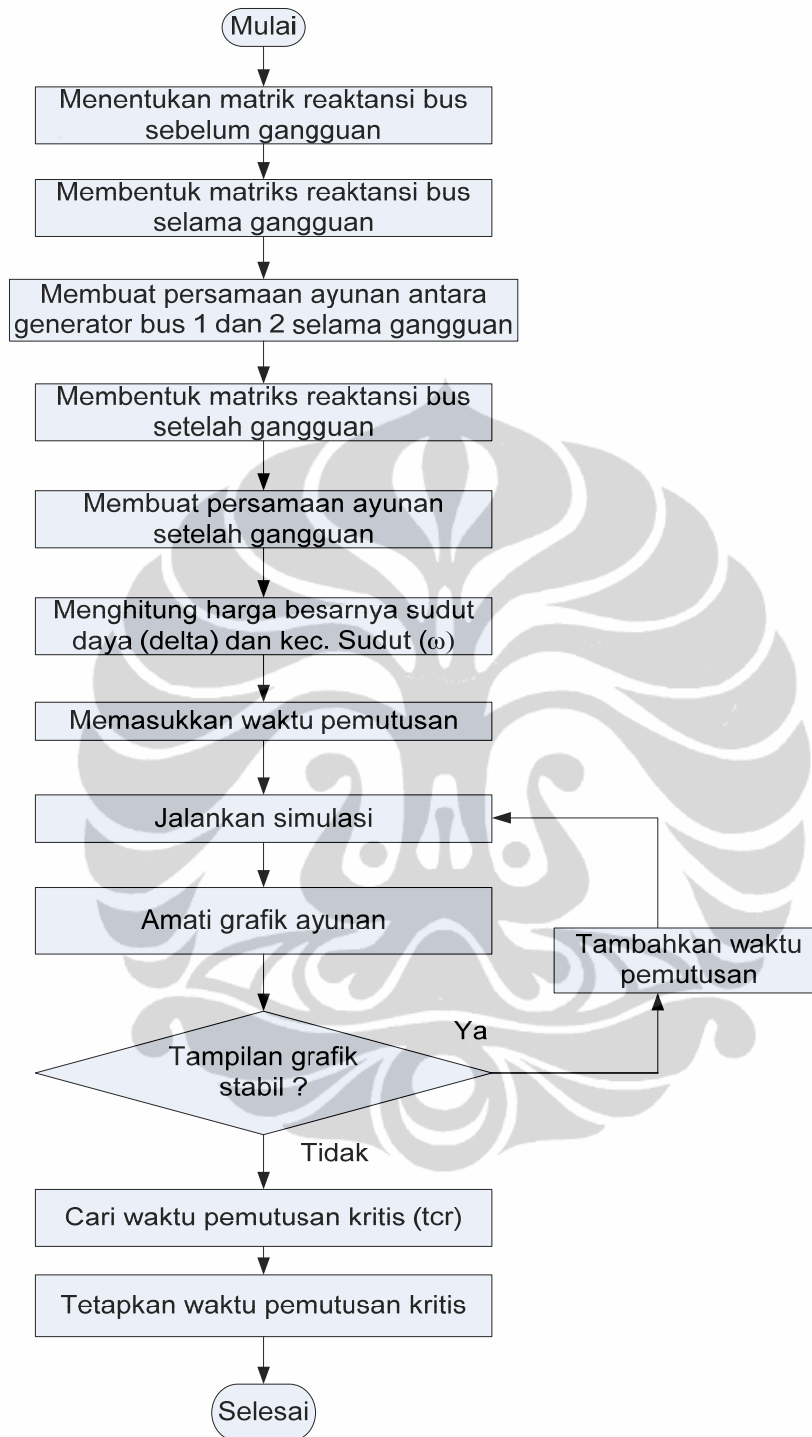
Universitas Indonesia

!	0.05	!	15.868	!	10.355	!	1.262	!	-4.098	!
!	0.06	!	16.664	!	7.766	!	1.515	!	-4.941	!
!	0.07	!	17.604	!	4.691	!	1.767	!	-5.794	!
!	0.08	!	18.689	!	1.126	!	2.020	!	-6.652	!
!	0.09	!	19.918	!	-2.931	!	2.272	!	-7.511	!
!	0.10	!	21.292	!	-7.480	!	2.524	!	-8.366	!
!	0.11	!	22.811	!	-12.515	!	2.777	!	-9.206	!
!	0.12	!	24.474	!	-18.024	!	3.029	!	-10.020	!
!	0.13	!	26.282	!	-23.989	!	3.282	!	-10.793	!
!	0.14	!	28.235	!	-30.381	!	3.534	!	-11.510	!
!	0.15	!	30.332	!	-37.164	!	3.787	!	-12.151	!
!	0.16	!	32.574	!	-44.287	!	4.039	!	-12.697	!
!	0.17	!	34.961	!	-51.691	!	4.292	!	-13.128	!
!	0.18	!	37.492	!	-59.305	!	4.544	!	-13.426	!
!	0.19	!	40.168	!	-67.048	!	4.797	!	-13.575	!
!	0.20	!	42.989	!	-74.830	!	5.049	!	-13.562	!
!	0.21	!	45.954	!	-82.556	!	5.301	!	-13.379	!
-----Waktu Pemutusan-----										
!	0.23	!	49.064	!	-90.129	!	5.554	!	-13.026	!
!	0.24	!	52.059	!	-97.447	!	4.910	!	-12.488	!
!	0.25	!	54.700	!	-104.403	!	4.321	!	-11.763	!
!	0.26	!	57.019	!	-110.893	!	3.781	!	-10.864	!
!	0.27	!	59.042	!	-116.823	!	3.287	!	-9.810	!
!	0.28	!	60.793	!	-122.109	!	2.832	!	-8.623	!
!	0.29	!	62.294	!	-126.682	!	2.412	!	-7.324	!
!	0.30	!	63.563	!	-130.485	!	2.022	!	-5.936	!
!	0.31	!	64.616	!	-133.471	!	1.658	!	-4.479	!
!	0.32	!	65.467	!	-135.607	!	1.315	!	-2.972	!
!	0.33	!	66.126	!	-136.870	!	0.989	!	-1.433	!
!	0.34	!	66.603	!	-137.246	!	0.676	!	0.121	!
!	0.35	!	66.902	!	-136.732	!	0.371	!	1.673	!
!	0.36	!	67.029	!	-135.332	!	0.071	!	3.208	!

!	0.37	!	66.984	!	-133.062	!	-0.227	!	4.709	!
!	0.38	!	66.768	!	-129.947	!	-0.529	!	6.156	!
!	0.39	!	66.376	!	-126.021	!	-0.838	!	7.532	!
!	0.40	!	65.805	!	-121.333	!	-1.157	!	8.815	!
!	0.41	!	65.047	!	-115.942	!	-1.492	!	9.983	!
!	0.42	!	64.092	!	-109.920	!	-1.845	!	11.014	!
!	0.43	!	62.928	!	-103.351	!	-2.222	!	11.887	!
!	0.44	!	61.541	!	-96.332	!	-2.627	!	12.585	!
!	0.45	!	59.912	!	-88.967	!	-3.065	!	13.092	!

Secara umum diagram alur proses penentuan waktu pemutusan menggunakan fungsi konvensional dapat digambarkan sebagai berikut.





Gambar 4.5. Flow Chart Estimasi Aliran Fungsi Konvensional