

ANALISA WAKTU PEMUTUSAN KRITIS SUATU SISTEM KELISTRIKAN

Nathaniel L Bijang¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado
e-mail: nbijang@yahoo.com

ABSTRAK

Kestabilan adalah kemampuan mesin sinkron dari sistem tenaga listrik untuk mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan. Umumnya analisa kestabilan terbagi dalam dua kategori yaitu kestabilan *steady state* yaitu analisa sistem untuk kembali ke kondisi stabil setelah mengalami gangguan kecil dan kestabilan transient yaitu analisa sistem untuk kembali ke kondisi normal/stabil setelah mengalami gangguan besar. Studi/analisa stabilitas sangat diperlukan saat perencanaan pembangkit dan transmisi. Analisa/studi stabilitas sistem tenaga listrik membantu untuk menentukan *setting* waktu *on/off* relai proteksi, waktu pemutusan kritis *circuit breaker*, level tegangan dan kapasitas transfer diantara sistem-sistem.

Kata kunci: Mesin sinkron, stabilitas, waktu pemutusan kritis

CRITICAL CLEARING TIME ANALYSIS ELECTRICAL POWER SYSTEM

ABSTRACT

The stability problem is concerned with the behavior of the synchronous machines after a disturbance. Transient stability studies are needed to ensure the system can withstand the transient condition following a major disturbance. Frequently, such studies are conducted when new generating and transmitting facilities are planned. The studies are helpful in determining such things as the nature of the relaying system needed, critical clearing time of circuit breakers, voltage level of, and transfer capability between systems.

Keywords: Synchronous machine, stability, critical clearing time

PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian suatu sistem tenaga listrik maka pada setiap saat akan selalu terjadi perubahan kapasitas dan letak beban dalam sistem. Perubahan tersebut mengharuskan setiap pembangkit menyesuaikan daya keluarannya melalui kendali governor maupun eksitasi mengikuti perubahan beban sistem. Jika hal ini tidak dilakukan maka akan menyebabkan keseimbangan daya dalam sistem terganggu dan efisiensi pengoperasian sistem menurun menyebabkan kinerja sistem memburuk. Kecepatan pembangkit memberi reaksi terhadap perubahan yang terjadi dalam sistem menjadi faktor penentu kestabilan sistem.

Kestabilan mesin pembangkit sangat tergantung pada kemampuan sistem kendalinya. Sistem kendali yang andal jika mampu mengendalikan mesin tetap beroperasi normal mengikuti perubahan-

perubahan yang terjadi dalam sistem. Jika semua mesin tetap beroperasi dalam kondisi normal meskipun ada gangguan, maka sistem tersebut akan benar-benar stabil.

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan karakteristik sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Secara umum permasalahan stabilitas sistem tenaga listrik terkait dengan kestabilan sudut rotor dan kestabilan tegangan. Klasifikasi ini berdasarkan rentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan. Kestabilan sudut rotor diklasifikasikan menjadi *small signal stability* dan *transient stability*. *Small signal stability* adalah kestabilan sistem untuk gangguan-gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang tak teredam, sedangkan *transient stability* dikarenakan kurang sinkronnya torsi dan diawali dengan

gangguan-gangguan besar. Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi tiga tipe bergantung pada sifat alami dan magnitude gangguan, yaitu : *stabilitas steady state* , *stabilitas transient*, dan *stabilitas dinamis*.

TINJAUAN PUSTAKA

Persamaan Ayunan (*Swing Equation*)

Menurut Nadjamuddin (2012) dan Saadat (1999), persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin sinkron didasarkan pada prinsip dasar dalam dinamika yang menyatakan bahwa momen putar percepatan merupakan hasil kali dari momen kelembaman rotor dan percepatan sudutnya. Untuk generator sinkron persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk :

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (1)$$

Dengan J adalah momen kelembaman total dari massa rotor dalam satuan kg-m^2 , θ_m adalah sudut pergeseran rotor terhadap suatu sumbu yang diam dalam satuan radian, T_a adalah momen putar percepatan bersih dalam satuan Newton-meter, T_m adalah momen putar mekanis dalam satuan Newton Meter dan T_e adalah momen putar elektromagnetis dalam satuan Newton-meter. Jika generator sinkron membangkitkan torsi elektromagnetis dalam keadaan berputar pada kecepatan sinkron ω_{sm} maka :

$$T_m = T_e \quad (2)$$

Jika terjadi gangguan akan menghasilkan suatu percepatan ($T_m > T_e$) atau perlambatan ($T_m < T_e$) dengan,

$$T_a = T_m - T_e \quad (3)$$

Untuk menentukan penyelesaian persamaan ayunan pada operasi steady state dimana $P_e = P_m$ dan sudut daya mula-mula diberikan oleh :

$$\delta_0 = \sin^{-1} \left[\frac{P_m}{P_{1mak}} \right] \text{ dengan } P_{1mak} = \frac{|E'| \cdot |V|}{X_1}$$

dan X_1 adalah reaktansi transfer sebelum gangguan, Rotor berputar pada kecepatan sinkron dan kemudian kecepatan putar berubah menjadi nol, sehingga : $\omega_0 = 0$.

Gangguan tiga fasa terjadi pada saluran transmisi sehingga persamaan sudut daya menjadi : $P_{2mak} = \frac{|E'| \cdot |V|}{X_2}$ dengan X_2 adalah reaktansi transfer selama gangguan. Dengan demikian persamaan ayunan yang diberikan

oleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\pi \cdot f_0}{H} (P_m - P_{2mak} \sin \delta) = \frac{\pi \cdot f_0}{H} P_a$$

Persamaan ayunan di atas ditransformasikan ke dalam bentuk pernyataan variable sebagai berikut :

$\frac{d\delta}{dt} = \omega$ dan $\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi \cdot f_0}{H} P_a$ yang akan di aplikasikan ke metode Runge Kutta Orde-4.

Untuk menentukan harga δ dan ω dengan penyelesaian metode Runge-Kutta orde 4, terlebih dahulu tentukan harga-harga k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , I_1 , I_2 , I_3 , dan I_4 , yaitu sebagai berikut :

$$k_1 = f(\delta_i, \omega_i) \Delta t = \omega_i \Delta t$$

$$I_1 = g(\delta_i, \omega_i) \Delta t = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \Delta t$$

$$k_2 = f\left(\delta_i + \frac{1}{2} k_1, \omega_i + \frac{1}{2} I_1\right) \Delta t = \left(\omega_i + \frac{1}{2} I_1\right) \Delta t$$

$$I_2 = g\left(\delta_i + \frac{1}{2} k_1, \omega_i + \frac{1}{2} I_1\right) \Delta t \\ = \frac{\pi f}{H} \left(P_m - P_e \sin\left(\delta_i + \frac{1}{2} k_1\right) \right) \Delta t$$

$$k_3 = f\left(\delta_i + \frac{1}{2} k_2, \omega_i + \frac{1}{2} I_2\right) \Delta t \\ = \left(\omega_i + \frac{1}{2} I_2\right) \Delta t$$

$$I_3 = g\left(\delta_i + \frac{1}{2} k_2, \omega_i + \frac{1}{2} I_2\right) \Delta t \\ = \frac{\pi f}{H} \left(P_m - P_e \sin\left(\delta_i + \frac{1}{2} k_2\right) \right) \Delta t$$

$$k_4 = f(\delta_i + k_3, \omega_i + I_3) \Delta t = (\omega_i + I_3) \Delta t$$

$$I_4 = g(\delta_i + k_3, \omega_i + I_3) \Delta t \\ = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e \sin(\delta_i + k_3)) \Delta t$$

Selanjutnya harga harga δ dan ω dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \frac{1}{6} (I_1 + 2I_2 + 2I_3 + I_4).$$

Sistem Mesin Majemuk

Menurut Edminister (1972) dan Murty (1984), persamaan mesin majemuk dapat ditulis sama dengan sistem satu mesin yang dihubungkan dengan infinite bus. Untuk mengurangi kerumitan dalam menganalisis stabilitas transient dapat dibuat penyederhanaan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

a. Setiap mesin sinkron direpresentasikan sebagai sumber tegangan konstan disamping reaktansi transient sumbu langsung. Representasi ini mengabaikan

- efek *salient*/kutub tonjol dan mengasumsikan fluks bocor yang konstan.
- b. Aksi governor diabaikan dan daya masukan diasumsikan selalu konstan selama keseluruhan periode simulasi.
- c. Semua beban diubah menjadi admitansi ke ground dan diasumsikan konstan.
- d. Redaman atau daya asinkron diabaikan.
- e. Sudut mekanik rotor setiap mesin bertepatan dengan sudut tegangan disamping reaktansi mesin.

Langkah pertama dalam analisis stabilitas transient adalah mula-mula menyelesaikan aliran daya dan menentukan magnitude tegangan bus mula-mula serta sudut fasa. Arus mesin sebelum gangguan dihitung dengan persamaan :

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Dengan m adalah jumlah generator, V_i adalah tegangan terminal generator ke- i . P_i dan Q_i adalah daya nyata dan daya reaktif generator. Semua harga yang diketahui ditentukan dari magnitude tegangan bus mula-mula yang didapat dari penyelesaian aliran daya. Resistansi jangkar generator pada umumnya diabaikan dan tegangan disamping reaktansi transient diperoleh dari persamaan berikut :

$$E_i = V_i + jX_d' I_i \quad (5)$$

Selanjutnya semua beban diubah menjadi admitansi ekuivalen dengan menggunakan hubungan :

$$Y_L = \frac{S_L^*}{|V_L|^2} = \frac{P_L - jQ_L}{|V_L|^2} \quad \text{dengan } P_L + jQ_L$$

adalah beban dan $|V_L|$ adalah besar tegangan bus. Tegangan yang meliputi disamping reaktansi *transient* pada sistem jaringan m bus ditambah dengan n bus. Semua beban jaringan ekuivalenini diubah menjadi admitansi. Titik $n+1, n+2, \dots, n+m$ adalah bus internal mesin, yaitu bus disamping reaktansi transient. Persamaan tegangan titik simpul dengan titik nol sebagai referensi untuk jaringan ini yang diberikan oleh persamaan berikut ini : $I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus}$.

Dengan I_{bus} adalah vektor arus yang disuntikkan pada bus dan V_{bus} adalah vektor tegangan bus diukur dari titik referensi. Elemen diagonal dari matriks admitansi bus adalah jumlah admitansi yang terhubung dengan bus tersebut, dan elemen diagonal ini bertanda negatif.

Tidak ada arus yang masuk atau meninggalkan bus beban. Arus dalam baris ke- n adalah nol. Arus generator dinyatakan

dengan vektor I_m dan tegangan generator dan beban dinyatakan berturut-turut oleh vektor E_m dan V_n persamaan dalam bentuk matriks adalah sbagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn} & Y_{nm} \\ Y_{nm}^t & Y_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ E_m' \end{bmatrix} \quad \text{atau}$$

$$0 = Y_{nn} V_n + Y_{nm} E_m'$$

$$I_m = Y_{nm}^t V_n + Y_{mm} E_m'$$

Dari persamaan sebelumnya didapat harga V_n sebagai berikut : $V_n = -Y_{nn}^{-1} Y_{nm} E_m'$

Substitusi persamaan diatas kepersamaan $I_m = Y_{nm}^t V_n + Y_{mm} E_m'$, sehingga didapatkan $I_m = [Y_{mm} - Y_{nm}^t Y_{nn}^{-1} Y_{nm}] E_m' = Y_{bus}^{red} E_m'$ Sehingga dari persamaan ini didapatkan matriks admitansi reduksi bus sebagai berikut:

$Y_{bus}^{red} = Y_{mm} - Y_{nm}^t Y_{nn}^{-1} Y_{nm}$ matriks admitansi bus pada persamaan tersebut adalah berdimensi ($m \times m$), dengan m adalah jumlah generator.

Daya listrik keluaran setiap mesin dinyatakan dalam bentuk tegangan internal mesin dengan persamaan sebagai berikut:

$S_{ei}^* = E_i^* I_i$ atau $P_{ei} = \Re [E_i^* I_i]$ dengan $I_i = \sum_{j=i}^m E_j' Y_{ij}$ Tegangan dan admitansi dinyatakan dalam bentuk polar, yaitu:

$E_i' = |E_i'| \angle \delta_i$ dan $Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij}$, dan substitusi harga I_i dari persamaan

$I_i = \sum_{j=i}^m E_j' Y_{ij}$ ke persamaan

$P_{ei} = \Re [E_i^* I_i]$ menghasilkan persamaan :

$$P_{ei} = \sum_{j=i}^m |E_i'| |E_j'| |Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j).$$

Stabilitas Transient Mesin Majemuk

Menurut Grainger, Stevenson dan William (1994) serta Wood dan Wollendberg (1984), studi stabilitas transient klasik didasarkan pada aplikasi gangguan tiga fasa. Gangguan tiga fasa permanen pada bus k dalam jaringan menghasilkan $V_k=0$. Hal ini ditunjukkan oleh perpindahan baris dan kolom ke- k dari matriks admitansi bus sebelum gangguan. Matriks admitansi bus baru adalah dikurangi oleh penghilangan semua titik (*node*) kecuali titik ionteral generator. Tegangan eksitasi generator selama gangguan dan titik gangguan diasumsikan konstan. Daya listrik dari generator ke- I dalam bentuk matriks admitansi bus baru yang direduksi diperoleh dari persamaan

$$P_{ei} = \sum_{j=i}^m |E'_i| |E'_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j).$$

Persamaan ayunan dengan redaman diabaikan, sebagaimana diberikan oleh persamaan sebelumnya. Untuk itu persamaan ayunan mesin I menjadi :

$$\frac{H}{\pi \cdot f_0} \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} = P_{mi} - \sum_{j=i}^m |E'_i| |E'_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Dengan Y_{ij} adalah elemen-elemen matriks admitansi bus gangguan yang direduksi, dan H_i adalah konstanta inersia mesin i yang dinyatakan dalam MVA pada dasar S_B . Jika H_{Gi} adalah konstanta inersia dan mesin i dinyatakan dalam MVA pada rating S_{Gi} , maka H_i diberikan dalam : $H_i = \frac{S_{Gi}}{S_B} H_{Gi}$

Daya listrik diperlihatkan generator ke- i oleh P_e^f dan perubahan persamaan

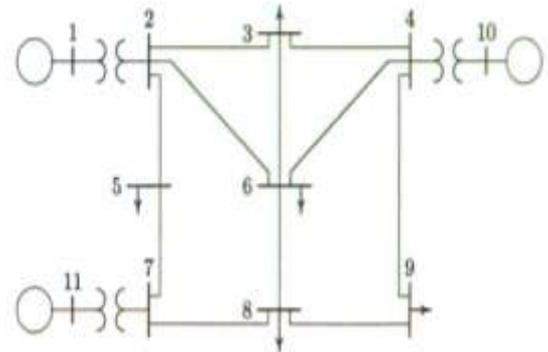
$$\frac{H}{\pi \cdot f_0} \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} = P_{mi} - \sum_{j=i}^m |E'_i| |E'_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

ke dalam model variable keadaan dinyatakan

$$\begin{aligned} \text{dengan : } \frac{d\delta_i}{dt} &= \omega_i \quad i=1,2,\dots,m \\ \frac{d\omega_i}{dt} &= \frac{\pi \cdot f_0}{H_i} (P_m - P_e^f). \end{aligned}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Kelistrikan Yang Ditinjau



Sumber: Saadat, Hadi, 1999

Gambar 1. Sistem Kelistrikan yang akan ditinjau/dianalisis

Bus_1 sebagai Slack bus $V=1.04 \angle 0^\circ$; Base 100 MVA.

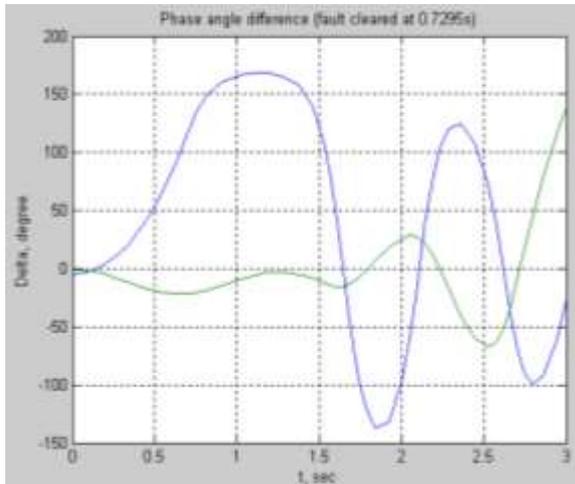
Tabel 1 Data Beban, Mesin dan Schedule Generation

| LOAD | | | Generator Schedule | | | | Data Mesin | | |
|---------|-----|------|--------------------|--------------|-------------|-----|------------|------|-----|
| No. Bus | MW | Mvar | Voltage Mag. | Generator MW | Mvar Limits | | Ra | X'd | H |
| | | | | | Min | Max | | | |
| 1 | 0.0 | 0.0 | 1.040 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.20 | 12 |
| 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 150 | 120 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 120 | 60 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6 | 140 | 90 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 110 | 90 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 80 | 50 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 0.0 | 0.0 | 1.035 | 200 | 0.0 | 180 | 0.0 | 0.15 | 10 |
| 11 | 0.0 | 0.0 | 1.030 | 160 | 0.0 | 120 | 0.0 | 0.25 | 9 |

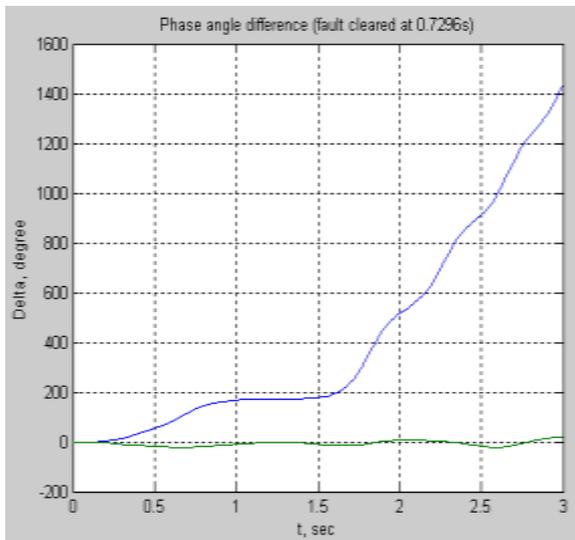
Suatu gangguan tiga fasa terjadi pada line/saluran yang menghubungkan antara 2 buah bus dan pemutusan secara *simultaneous opening of breakers* pada kedua ujung line/saluran dimana gangguan tiga fasa terjadi.

Untuk menentukan dan mensimulasikan waktu pemutusan kritis dari pemutusan akibat gangguan tiga fasa pada saluran yang menghubungkan antar dua bus yang mengalami gangguan (*fault*) maka berdasarkan data disusunlah suatu program berbasis Matlab (Lampiran).

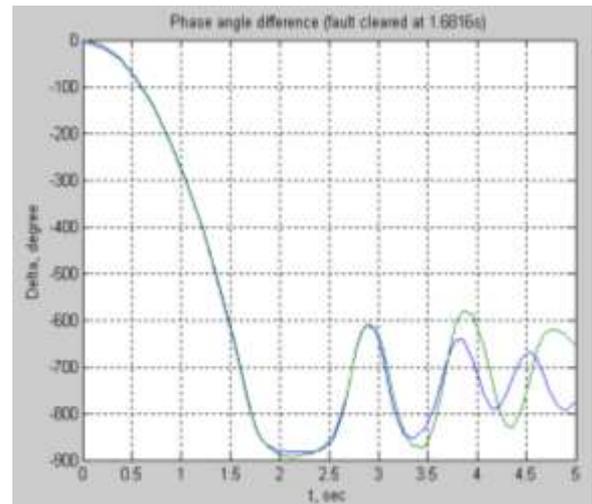
Hasil simulasi pemutusan gangguan pada saluran/*line* yang mengalami gangguan tiga fasa, dalam hal ini dilakukan simulasi *fault cleared* pada tiga lokasi gangguan yang berbeda dan hasilnya adalah sebagai berikut :



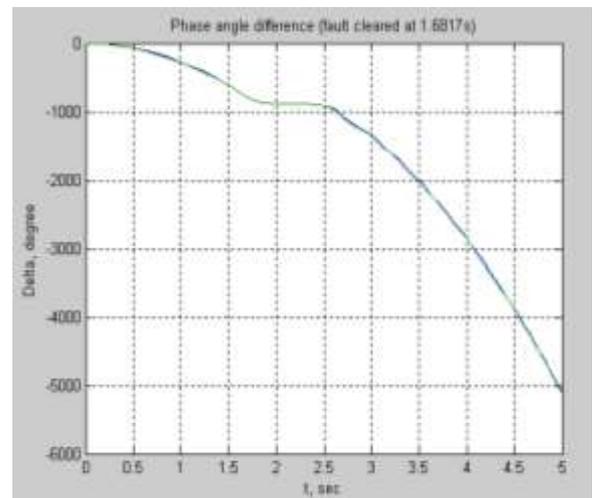
Gambar 2 Pemutusan kritis pada line 4_9 dekat bus 4 (*fault cleared at 0,7295 sec*)



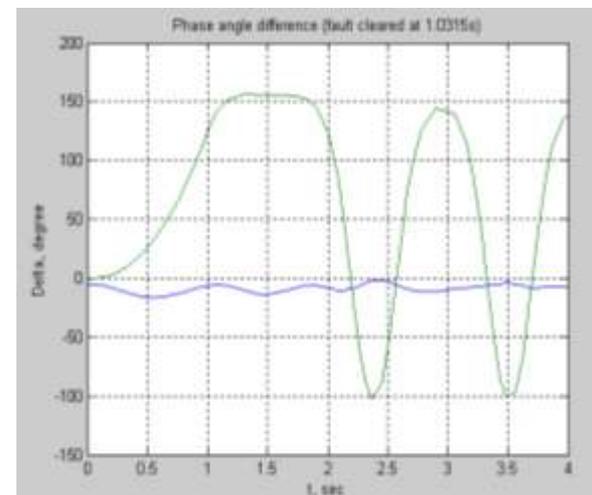
Gambar 3 Gangguan pada line 4_9 (*fault cleared at 0,7296sec*)



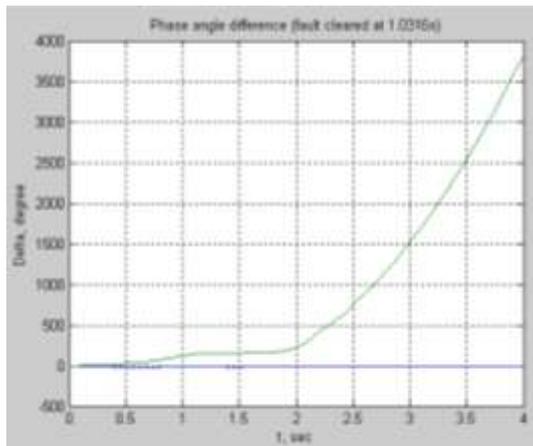
Gambar 4 Pemutusan kritis pada line 2_6 dekat bus 2 (*fault cleared at 1,6816 sec*)



Gambar 5 Gangguan pada line 2_6 (*fault cleared at 1,6817sec*)



Gambar 6 Pemutusan kritis pada line 7_8 dekat bus 7 (*fault cleared at 1,0315 sec*)



Gambar 7 Gangguan pada line 7_8 (*fault cleared at 1,0316 sec*)

KESIMPULAN

1. Jika terjadi gangguan dimana arus gangguan (I_f) lebih besar daripada arus nilai *pick up relay* (I_p) dan waktu bekerjanya *relay* harus distel / diset sedemikian rupa sehingga tidak melampaui *critical clearing time* (waktu pemutusan kritis) agar kestabilan mesin dalam sistem daya tetap terjaga. Jadi *relay* bekerja untuk memutuskan saluran yang mengalami gangguan umumnya ditentukan oleh $|I_f| > |I_p|$ dan juga oleh settingan waktu *relay* untuk bekerja, dimana penentuan waktu mula-mula bekerjanya *relay* harus lebih kecil daripada waktu pemutusan kritis saat terjadi gangguan yang umumnya diperoleh dari hasil simulasi gangguan
2. Stabilitas suatu sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem itu untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan. Sebaliknya ketidak stabilan suatu sistem adalah kehilangan sinkron dari sistem itu. Jadi masalah stabilitas terkait dengan penilaian mesin sinkron setelah gangguan. Untuk keperluan analisis, masalah stabilitas secara umum ada dua kategori utama yaitu stabilitas *steady state* dan stabilitas *transient*. Stabilitas *steady state* dipandang sebagai kemampuan dari sistem tenaga untuk memperoleh kembali kesinkronan setelah terjadi gangguan kecil. Stabilitas

transient dipandang pada gangguan yang mendadak seperti halnya pemutusan saluran yang mendadak, penambahan beban yang mendadak, atau perubahan beban.

3. Ada dua faktor yang dapat berfungsi sebagai kriteria petunjuk bagi kestabilan relatif suatu unit pembangkit di dalam sistem daya. Faktor itu ialah *swing* atau ayunan sudut mesin selama dan setelah terjadinya gangguan dan waktu pemutusan kritis. Dari *swing equation* (persamaan ayunan) mesin sinkron terlihat bahwa konstanta H dan reaktansi peralihan $X'd$ dari unit pembangkit (mesin sinkron) mempunyai pengaruh langsung pada kedua kriteria yang dimaksud. Makin kecil konstanta H , maka makin besarlah ayunan sudut mesin sinkron pada setiap interval waktu. Sebaliknya P_{maks} mengecil jika reaktansi peralihan mesin sinkron ($X'd$) meningkat. Jadi setiap perkembangan yang memperkecil konstanta H dan memperbesar reaktansi peralihan ($X'd$) mesin sinkron maka akan mengurangi/menurunkan kemungkinan pemeliharaan kestabilan mesin sinkron pembangkit tenaga listrik pada keadaan stabilitas transient.

DAFTAR PUSTAKA

- Edminister, J.A. 1972. *Theory and Problem of Electric Circuit*. McGraw-Hill.
- Grainger, J.J., Stevenson, D. William JR. 1994. *Power System Analysis*. McGraw-Hill,
- Murty, P S R. 1984. *Power System Operation and Control*. McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Nadjamuddin H. 2012. *Perancangan Pembangkit Tenaga Listrik*, Bumi Publishing, Makassar.
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- Wood, A.J., B.F. Wollendberg. 1984. *Power Generation Operation and Control*, John Wiley & Sons.

Lampiran : Program Matlab untuk menentukan dan mensimulasikan waktu pemutusan kritis.

```

basemva = 100; accuracy = 0.0001; maxiter = 10;          %Injeksi
%   code mag deg loadMW LdMVAr PmW PmVar Qmin Qmax Mvar
busdata=[1 1 1.040 0.0 00.00 00.00 0.00 00.00 0 0 0
          2 0 1.0 0.0 00.00 00.00 0.00 00.00 0 0 0
          3 0 1.0 0.0 150.00 120.00 0.00 00.00 0 0 0
          4 0 1.0 0.0 0.00 0.00 0.00 00.00 0 0 0
          5 0 1.0 0.0 120.00 60.00 0.00 00.00 0 0 0
          6 0 1.0 0.0 140.00 90.00 0.00 00.00 0 0 0
          7 0 1.0 0.0 00.00 00.00 0.00 00.00 0 0 0
          8 0 1.0 0.0 110.00 90.00 0.00 00.00 0 0 0
          9 0 1.0 0.0 80.00 50.00 0.00 00.00 0 0 0
          10 2 1.035 0.0 0.00 0.00 200.00 00.00 0 180 0
          11 2 1.030 0.0 0.00 0.00 160.00 00.00 0 120 0];

linedata=[1 2 0.000 0.006 0.0000 1.0
          2 3 0.008 0.030 0.0040 1.0
          2 5 0.004 0.015 0.0020 1.0
          2 6 0.012 0.045 0.0050 1.0
          3 4 0.010 0.040 0.0050 1.0
          3 6 0.004 0.040 0.0050 1.0
          4 6 0.015 0.060 0.0080 1.0
          4 9 0.018 0.070 0.0090 1.0
          4 10 0.000 0.008 0.0000 1.0
          5 7 0.005 0.043 0.0030 1.0
          6 8 0.006 0.048 0.0000 1.0
          7 8 0.006 0.035 0.0040 1.0
          7 11 0.000 0.010 0.0000 1.0
          8 9 0.005 0.048 0.0000 1.0];

%   Gen. Ra Xd' H
Gendata = [ 1 0 0.20 12
           10 0 0.15 10
           11 0 0.25 9];

global Pm f H E Y th ngg
f=60;
%zdd=gendata(:,2)+j*gendata(:,3);
ngr=gendata(:,1);
%H=gendata(:,4);
ngg=length(gendata(:,1));
%%
for k=1:ngg
zdd(ngr(k))=gendata(k, 2)+j*gendata(k,3);
%H(ngr(k))=gendata(k, 4);
H(k)=gendata(k,4);
end
%%
for k=1:ngg
I=conj(S(ngr(k)))/conj(V(ngr(k)));
%Ep(ngr(k)) = V(ngr(k))+zdd(ngr(k))*I;
%Pm(ngr(k))=real(S(ngr(k)));
Ep(k) = V(ngr(k))+zdd(ngr(k))*I;
Pm(k)=real(S(ngr(k)));
end
E=abs(Ep); d0=angle(Ep);
for k=1:ngg
nl(nbr+k) = nbus+k;
nr(nbr+k) = gendata(k, 1);
%R(nbr+k) = gendata(k, 2);

```

```

%X(nbr+k) = gendata(k, 3);
R(nbr+k) = real(zdd(ngr(k)));
X(nbr+k) = imag(zdd(ngr(k)));
Bc(nbr+k) = 0;
a(nbr+k) = 1.0;
yload(nbus+k)=0;
end
nbr1=nbr; nbus1=nbus;
nbrt=nbr+ngg;
nbust=nbus+ngg;
linedata=[nl, nr, R, X, -j*Bc, a];
[Ybus, Ybf]=ybusbf(linedata, yload, nbus1,nbust);
Ybf
Y=abs(Ybf); th=angle(Ybf);
Pm=zeros(1, ngg);
disp(['  G(i)  E"(i)  d0(i)  Pm(i)'])
for ii = 1:ngg
for jj = 1:ngg
Pm(ii) = Pm(ii) + E(ii)*E(jj)*Y(ii, jj)*cos(th(ii, jj)-d0(ii)+d0(jj));
end,
fprintf('  %g', ngr(ii)), fprintf(' %8.4f',E(ii)), fprintf(' %8.4f', 180/pi*d0(ii))
fprintf(' %8.4f \n',Pm(ii))
end
respfl='y';
while respfl == 'y' | respfl=='Y'
nf=input('Enter faulted bus No. -> ');
Ydf=ybusdf(Ybus, nbus1, nbust, nf)
%Fault cleared
[Yaf]=ybusaf(linedata, yload, nbus1,nbust, nbrt);
Yaf
resptc='y';
while resptc == 'y' | resptc=='Y'
tc=input('Masukkan clearing time of fault dalam sec. tc = ');
tf=input('Masukkan final simulation time dalam sec. tf = ');
clear t x del
t0 = 0;
w0=zeros(1, length(d0));
x0 = [d0, w0];
tol=0.0001;
Y=abs(Ydf); th=angle(Ydf);
tspan=[t0, tc];
[t1, xf]=ode23('dfpek', tspan, x0);
x0c =xf(length(xf), :);
Y=abs(Yaf); th=angle(Yaf);
tspan = [tc, tf];
[t2,xc]=ode23('afpek', tspan, x0c);
t=[t1; t2]; x = [xf; xc];
for k=1:nbus
if kb(k)==1
ms=k; else, end
end
kk=0;
for k=1:ngg
if k~=ms
kk=kk+1;
del(:,kk)=180/pi*(x(:,k)-x(:,ms));
fprintf('  d(%g,',ngr(k)), fprintf('%g)', ngr(ms))
else, end
end
end

```