**PENENTUAN WAKTU PEMUTUSAN YANG TEPAT**

**SAAT TERJADI GANGGUAN PADA DUA GENERATOR SINKRON YANG BEKERJA PARALEL**

**Bambang Sudibya1), Mardiana Irawaty2)**

**1,2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Informatika**

**Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto (STTA) Yogyakarta**

**Abstrak**

Pada umumnya sistem daya listrik dioperasikan secara kontinyu, namun apabila terjadi gangguan pada salah satu pembangkit atau pada rel maka hal ini tidak dimungkiri akan terjadi gangguan pada penyaluran daya. Untuk itu perlu diadakan studi stabilitas sistem tenaga yang khususnya sistem dengan pembangkit lebih dari satu unit pembangkit (multimesin) dimana pembangkit yang dekat dengan pusat gangguan berat akan mengalami pemutusan, sedang yang lain akan mengalami ketidakseimbangan sesaat, untuk itu perlu telaah kestabilan sistem agar suplai daya ke konsumen bisa terjaga dengan baik. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan waktu pemutusan yang tepat dari sistem daya yang mengalami gangguan berat, yaitu dengan metode membuat program yang bisa memberikan informasi waktu yang tepat untuk melakukan pemutusan suplai daya atau tidak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk sistem yang diuji, waktu pemutusan kritis adalah pada interval 0.20 detik sampai 0.225 detik

Kata-kata kunci: pemutusan, gangguan, generator, paralell, stabil.

***Abstract***

*Electric power system usually is operated by continued, but in same case such as disturbance occured on power station or Busbar so that damage on electric suplying. In this case it’s needed to study stability of system generation, for continued electric suplay to costumer is on good servis. The research how to determine the occured breaking time of power system has being serius damage, by made the stability programe so that can be found information the exacly time to break of power or no. Result of the research is showed that power system are tested, the critical time are in the range 0.20 to 0.225 second.*

*Key words: break, disturbance, generator, paralell, stability.*

**1. PENDAHULUAN**

Dalam perencanaan, pengoperasian dan pengembangan suatu sistem daya listrik perlu dilakukan analisis Stabilitas [William D. Stevensen, Elhawary Mohammed]. Stabilitas adalah kemampuan suatu sistem daya atau bagian komponennya untuk mempertahankan keseimbangan antara daya input mekanis pada penggerak mula (*prime mover*) dengan daya output elektrik (beban) dalam sistem. Secara umum analisis stabilitas bertujuan untuk menentukan apakah suatu sistem akan tetap dalam keadaan stabil atau tidak setelah system mengalami gangguan berat, misalnya gangguan sistem transmisi, perubahan beban yang mendadak, terputusnya unit pembangkit, atau pemutusan saklar (*Switching*) saluran. Sistem daya saat ini jauh lebih luas ditambah dengan interkoneksi antar sistem yang rumit pula yang melibatkan puluhan mesin (*multimesin*) yang bekerja serentak/bareng yang secara dinamis saling mempengaruhi melalui perantaraan jala-jala tegangan extra tinggi dan ultra tinggi. Berdasarkan sifat dan besarnya gangguan, studi stabilitas dibedakan menjadi: stabilitas keadaan tetap ( *steady state*), stabilitas transient dan stabilitas dinamis.

 Stabilitas transien didasarkan pada kondisi kestabilan ayunan pertama (*first swing*) dengan periode waktu penyelidikan pada detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Studi kestabilan dinamis dan keadaan tetap ruang lingkupnya tidak seberapa luas, hanya menyangkut satu atau beberapa mesin yang mengalami perubahan keadaan kerja secara perlahan-lahan atau berangsur-angsur normal kembali. Oleh karena itu telaah kestabilan tetap dan dinamis menyangkut kestabilan tempat kedudukan (*locus*)dari titik kerja sistem yang pada dasarnya berada pada keadaan tetap. Jadi teknik penyelesaian masalah kestabilan keadaan tetap dan dinamis ialah menyelidiki kestabilan sistem itu terhadap perubahan kecil disekitar titik kesetimbangan.

Batasan stabilitas sistem adalah besarnya daya maksimum yang dapat mengalir melalui suatu titik dalam sistem tanpa menyebabkan hilangnya stabilitas. Dari analisis stabilitas ini akan diketahui besar sudut pemutusan kritis (δcr), waktu pemutusan (tc) dan batas-batas stabilitas yang lain pada saat sistem mengalami gangguan.

2. **TINJAUAN PUSTAKA**

Studi (telaah) stabilitas sistem tenaga listrik pernah dilakukan oleh William D. Stevensen, yang menggunakan metoda kriteria sama luas (*Equal Area Criterion, EAC*) yang merupakan metode untuk menentukan sudut pemutusan kritis (δcr ) dan tidak dapat langsung digunakan dalam sistem-sistem dimana terdapat tiga buah mesin atau lebih banyak. Meskipun gejala fisik yang terlihat dalam masalah dua mesin pada dasarnya mencerminkan juga apa yang akan terlihat dalam kasus mesin majemuk (*multimesin*).

Kajian lebih lanjut dilakukan oleh Ontoseno Penangsang dan Sabar Setya Widayat dengan metode kriteria sama luas yang dikembangkan (*Extended* *Equal Area Criterion, EEAC* ), tapi sama dengan metode sebelumnya yang baru bisa menentukan sudut pemutusan kritis namun penggabaran luas areanya sudah dengan sebuah program, tidak secara manual. Sehingga untuk menentukan waktu pemutusan kritis diperlukan suatu lengkung/kurva ayunan antara δ dengan t.

Model mesin serempak yang paling sederhana adalah model yang digunakan dalam studi-studi kestabilan klasik. Studi kestabilan klasik adalah studi yang dilakukan dengan model yang diandaikan ( *Classical stability model* ) yang dipaparkan modelnya sebagai berikut:

1. Masukan daya mekanis ke masing-masing mesin adalah tetap konstan selama keseluruhan periode perhitungan lengkung ayunan
2. Daya peredaman dapat diabaikan
3. Setiap mesin boleh diwakili oleh suatu reaktansi peralihan yang konstan yang terhubung seri dengan suatu tegangan dalam peralihan yang konstan pula.
4. Sudut rotor mekanis dari setiap mesin adalah bersamaan dengan δ, yaitu sudut fasa listrik dari tegangan dalam peralihan.
5. Semua beban boleh dianggap sebagai impedansi shunt ke tanah dengan nilai yang ditentukan oleh keadaan yang berlangsung tepat sebelum keadaan peralihan.

**PEMODELAN STABILITAS SISTEM**

Faktor-faktor utama dalam stabilitas sistem tenaga listrik terdiri dari faktor mekanis (Torsi input prime mover, inertia dari prime mover dan generator, inertia motor dan sumbu beban, serta torsi output sumbu beban) dan faktor elektris ( tegangan internal generator sinkron, reaktansi sistem, tegangan internal dari motor sinkron), sebagaimana tergambarkan pada gambar 1 berikut ini.

Torsi input

 **PM G X M**

PM : Prime Mover G : Generator

X : Reaktansi M : Motor sinkron

Gambar 1. Model dari sebuah sistem tenaga listrik

Persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin serempak didasarkan pada prinsip dasar dalam dinamika yang menyatakan bahwa momen-putar percepatan (*accelerating torque*) adalah hasil kali momen kelembaman rotor dan percepatan sudutnya. Dalam sistem unit-unit MKS, dan untuk generator serempak, persamaan yang berlaku untuk studi kestabialan adalah:

 ( N-m) ....................................................... 1)

dimana :

J = momen kelembaman total dari masa motor, dalam kg-m2

Θm= pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam, rad

t = waktu, detik

Tm= momen putar mekanis atau poros yang diberikan oleh PM, N-m

Te= momen putar elektris atau elektromagnetis, N-m

Ta= momen putar percepatan bersih, N-m.

Dinamika dasar bahwa daya adalah sama dengan momen putar kali kecepatan sudut dan karenanya persamaan dinamika generator dapat dituliskan:

 ( Watt ) ................................................. 2)

Dan persamaan ayunan resultan pada setiap keadaan akhirnya mengambil bentuk:

 ............................................ 3)

 dan 

 ............................................................... 4)

 dan 

Persamaan 3 dapat dituliskan sebagai berikut

 der listr/dt2. .................................................... 5)

dimana

 ...................................................... 6)

dari persamaan 5, karena ada perubahan kecepatan yang merupakan hasil kali dari percepatan dan interval waktu dan oleh karenanya dapat ditulis

 ................................................................7)

Perubahan δ pada setiap interval adalah hasil kali dari ωt untuk interval tersebut dan waktu dari interval, jadi perubahan δ dalam δ interval n-1 adalah:

 ................................................... 8)

dan dalam interval yang ke-n

**** .............................................................................. 9)

Dimana:

 ...................................................................................... 10)

**3. METODE PENELITIAN**

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan penelitian secara klasik, yaitu dengan cara mengandaikan suatu rangkaian sistem daya listrik, data-data peralatan juga diambil dari buku referensi, namun produk yang dihasilkan bisa aplikasikan dalam keadaan yang nyata yaitu dengan cara mengganti variabel-variabelnya.

1. **Rangkaian sistem daya listrik**

Untuk melakukan kajian/telaah mengenai stabilitas transient sistem multimesin diperlukan minimal 2 buah mesin sinkron/generator pembangkit, 5 bus, 2 transformator dan 5 saluran sebagimana terlihat pada gambar 2.

Generator 1

Generator 2

4

3

5

1

2

Gambar 2. Rangkaian sistem daya listrik .

1. **Data generator:**

 Generator 1 : 400 MVA, 20kV, X’d = 0.067 pu, H = 11.2 MJ/MVA

 Generator 1 : 250 MVA, 18kV, X’d = 0.10 pu, H = 8.0 MJ/MVA

1. **Data saluran dan transformator**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Bus ke bus | Resistansi (R) | Reaktansi (X) | Y shunt (B) |
| Transformator 1-4Transformator 2-5Saluran 3-4Saluran 3-5 (1)Saluran 3-5 (2)Saluran 4-5 | .......................................................0.0070.0080.0080.018 | 0.0220.0400.0400.0470.0470.110 | ------0.0820.0980.0980.226 |

**Pembuatan program**

 Dalam membuat program stabilitas transient multimesin (kurva ayunan) memerlukan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Menentukan arus yang mengalir ke jala-jala pada bus-1:

 

 Dengan cara yang sama diperoleh I2 = 1.837

b. Membentuk matriks admitansi bus sebelum gangguan



c. Membentuk matriks admitansi bus selama gangguan dengan cara menghilangkan baris dan kolom 4

d. Membentuk matriks admitansi bus setelah gangguan dengan cara mengenolkan Y45

e. Menentukan sudut daya per unit

f. Membuat program sebagaimana terlihat pada lampiran 1.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil program kurva ayunan**



Gambar 3. Kurva ayunan dari mesin-1 dan mesin-2 untuk waktu pemutusan t = 0.05 detik



Gambar 4. Kurva ayunan dari mesin-1 dan mesin-2 untuk waktu pemutusan t = 0.225 detik

**Pembahasan**

 Dari gambar 3 dimana kurva ayunan dari mesin-1 dan mesin-2 masih dalam sinusoidal ini berarti bahwa kedua mesin pada saat waktu pemutusan dengan t = 0.05 detik masih bekerja normal walaupun terjadi gangguan di saluran 4-5 pada ujung saluran didekat bus 4. Pemutusan memang terlalu cepat namun sebenarnya ini lebih aman bagi mesin-1, lebih aman lagi untuk mesin-2.

 Jelas lengkung ayunan menunjukkan bahwa lenkung untuk mesin-1 untuk t yang sama sudut kritis dari rotor sudah besar dan ini mengakibatkan lepasnya dari rotor dari kerja normal.

 Dari gambar 4 ditunjukkan bahwa semakin lama waktu pemutusan yakni dari t = 0.05 detik ke t = 0.225 detik mengakibatkan mesin-1 keluar dari kerja normal dan tidak kembali sebagaimana semula ( kurva tidak sinus) artinya mesin-1 mengakibatkan terbukanya pemutus tenaga dengan sendirinya/otomatis, ini disebabkan gangguan berat terjadi di dekat bus-1 sehingga yang mengalami pukulan berat adalah generator/mesin-1.

 Lengkung ayunan generator-2 masih sinusoidal yang berati bahwa pada saat pemutusan generator masih bekerja normal dan perlu diamankan sesegera mungkin untuk menghidari kerusakan yang lebih fatal lagi.

 Yrel dari sistem yang mengalami gangguan adalah rel-1, sehingga rel ini melepaskan diri dari rel yang lain selama berlangsungnya gangguan dan rel-2 dihubungkan langsung pada rel-3. Hal ini mencerminkan kenyataan fisik bahwa hubung-singkat pada rel 4 memperkecil daya yang disuntikkan ke dalam sistem dari generator-1 hingga nol, dan menyebabkan generator-2 mencatu dayanya secara radial melalui rel 3.

**5. KESIMPULAN**

1. Dengan menentukan lengkung ayunan untuk berbagai waktu pemutusan, panjangnya waktu yang diizinkan sebelum diputuskannya gangguan dapat ditentukan.
2. Suatu generator/mesin bisa dikatakan stabil saat terjadi gangguan, apabila sesaat setelah terjadi gangguan mesin tersebut mempunyai pergeseran sudut rotor yang kecil sehingga masih mampu untuk berayun kembali dalam beberapa siklus putaran lagi tanpa adanya pemutusan.
3. Lengkung-lengkung ayunan menunjukkan kedua mesin masih stabil bila sistem dilakukan pemutusan sebelum t = 0.225 detik, atau dengan kata lain bahwa mesin-1 tidak stabil untuk kondisi pemutusan 0.225 detik.
4. Waktu pemutusan kritis adalah pada interval 0.20 detik sampai 0.225 detik, interval waktu ini sangat penting untuk melakukan manuver terhadap jaringan apakah sistem akan segera dibuka pemutusnya atau tidak.

**DAFTAR PUSTAKA**

Cekmas Cekdin, 2007 ”*Sistem Tenaga Listrik*”,Andi Offset, Yogyakarta

Elhawary Mohammed E, 1983,”*Electrical Power System, design And Analysis*”, Reston Publising, Reston, VA.

M.A. Pai, 1989, ”*Energy Function Analysis for Power System Stability*”, Kluwer Academic Publisers, Boston, Dordecht,London

M.H. Haque,A. H. M. A. Rahim, 1989,”*Determinition of first swing stability limit of Multimachine power system of multimachine power system expantion*” IEEE Proccedings.

Ontoseno Penangsang dan Sabar Setya Widayat, 2001, :*Analisa Stabilitas Transient Multimesin dengan Metode Extended Equal Area Criterion*: PPs ITS Surabaya.

W. D. Stevensen, 1994,”*Power System Analysis*”, McGraw Hill, Publising Compony.