

PENINGKATAN STABILITAS SISTEM KELISTRIKAN MESIN TUNGGAL BERBASIS METODE RUNGE KUTTA ORDE 4

Solly Arya¹, Zulkarnain Lubis²

Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro,
Universitas Pembangunan Panca budi Medan, Indonesia

Abstrak: Pada sistem tenaga listrik yang melayani beban secara terus menerus seharusnya tegangan dan frekuensi harus tetap konstan, namun jika terjadi gangguan pada salah satu genset atau rel, maka tidak dapat dipungkiri akan terjadi menjadi gangguan pada pasokan listrik. Perlu dilakukan Penelitian tentang Stabilitas Sistem Tenaga Listrik berkaitan dengan Penentuan Critical Breaking Angle dan Critical Breaker Time pada generator, untuk mengetahui berapa Sudut Pemutus Kritis dan berapa Waktu Pemutus Kritis. Dalam makalah ini digunakan Runge Kutta Metode urutan ke-4 dengan bantuan perangkat lunak Matlab
Kata kunci: Pemutus Kritis, Runge Kutta, Generator.

PENDAHULUAN.

Salah satu studi yang paling penting dalam desain dan pengoperasian sistem tenaga listrik adalah penilaian keamanan transien [1], [2]. Analisis ini memerlukan evaluasi kemampuan jaringan listrik untuk menahan gangguan besar dan untuk bertahan dalam transisi ke kondisi operasi normal atau yang dapat diterima.

Tersandung selektif dari satu atau lebih unit pembangkit setelah terjadinya kontinjensi yang parah dapat berhasil digunakan untuk meningkatkan keamanan sistem [3]. Teknik yang memungkinkan unit yang tersandung untuk disinkronkan kembali ke sistem dan dibawa kembali ke beban penuh atau sebagian dalam beberapa menit terbatas di masa lalu untuk pembangkit listrik tenaga air. Saat ini, banyak perusahaan listrik telah memperluas penggunaannya baik untuk unit pembangkit berbahan bakar fosil maupun nuklir [4].

Dalam makalah ini digunakan kriteria extended equal area untuk mempelajari dan menganalisis efek tripping dari satu atau lebih generator dalam stabilitas transien Sistem tenaga multimesin [5], [6]. Formulasi langsung ini diterapkan pada jaringan uji dan hasilnya dibandingkan dengan larutan yang diperoleh dengan menggunakan metode Runge-Kutta. Juga dipelajari pengaruh trapping effect terhadap umur kelelahan poros rotor dari generator yang tersisa ketika satu atau lebih unit daya terjebak [7].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang dapat dikemukakan dalam penelitian ini adalah:

1. Cara menggunakan Same Larger Criteria untuk menentukan kestabilan sistem tenaga pada PLTU Sicanang Belawan dalam keadaan transien.
2. Seberapa besar Sudut Kliring Kritis (Critical Clearing Angle) untuk menentukan kestabilan Sistem Tenaga Listrik di PLTU Sanyang Belawan dalam keadaan peralihan (transient).

STABILITAS SISTEM TENAGA

Keseimbangan daya antara kebutuhan beban dan pembangkitan generator merupakan salah satu ukuran kestabilan operasi sistem tenaga listrik. Dalam berfungsinya sistem tenaga listrik setiap saat akan selalu terjadi perubahan kapasitas dan letak beban pada sistem tersebut. Perubahan tersebut mengharuskan setiap pembangkit listrik menyesuaikan daya keluarannya melalui kontrol pengatur dan eksitasi mengikuti perubahan tekanan sistem. Jika hal ini tidak dilakukan, maka akan menyebabkan keseimbangan daya dalam sistem terganggu, dan efisiensi pengoperasian sistem menurun yang menyebabkan kinerja sistem menurun.

Sistem tenaga listrik terdiri dari unit-unit pembangkit yang dihubungkan dengan saluran untuk melayani beban. Sistem tenaga listrik yang memiliki beberapa mesin biasanya menyalurkan daya beban melalui saluran interkoneksi. Tujuan utama dari sistem saluran interkoneksi adalah untuk menjaga kontinuitas dan ketersediaan daya yang penting untuk kebutuhan beban yang terus meningkat. Sistem tenaga yang berkembang dapat menyebabkan kinerja sistem yang lemah ketika terganggu. Salah satu efek yang parah adalah osilasi elektromekanis yang jika tidak benar

teredam maka sistem akan terganggu dan dapat keluar dari daerah stabilitas sehingga mengakibatkan efek yang lebih buruk seperti padam.

Stabilitas sistem tenaga lipolitik merupakan karakteristik sistem kelistrikan yang memungkinkan mesin untuk bergerak secara simultan dalam sistem dalam operasi normal dan dapat kembali ke keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Masalah stabilitas sistem tenaga listrik berkaitan dengan stabilitas dan stabilitas sudut rotor. Klasifikasi ini didasarkan pada rentang waktu dan mekanisme ketidakstabilan. Stabilitas sudut rotor diklasifikasikan menjadi Stabilitas Sinyal Kecil dan Stabilitas Transien. Stabilitas Sinyal Kecil adalah kestabilan sistem untuk gangguan kecil berupa osilasi elektromekanis yang tidak teredam, sedangkan Stabilitas Transien disebabkan oleh kurangnya sinkronisasi torsi dan dimulai dengan gangguan besar.

Kestabilan sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem kelistrikan atau bagian-bagiannya untuk menjaga sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem. Batas stabilitas sistem adalah daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem tanpa menyebabkan hilangnya keseimbangan. Berdasarkan sifat gangguannya masalah stabilitas sistem tenaga dibedakan atas :

1. Stabil.
2. Stabilitas transisional (sementara).
3. Sub-stabilitas (dinamis).

Stabilitas steady state adalah kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah terjadi gangguan kecil (fluktuasi beban).

Stabilitas transien adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi setelah gangguan besar yang tiba-tiba di sekitar ayunan pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis tidak bekerja.

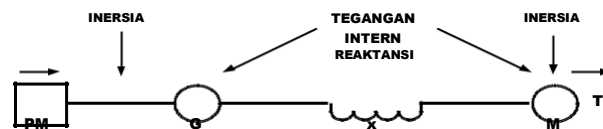
Kestabilan dinamisme adalah setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) sistem dapat mempertahankan sinkronisasi hingga sistem dalam keadaan keseimbangan baru (kestabilan transien jika AVR dan governor bekerja cepat dan diperhitungkan dalam analisis) .

Yang dimaksud dengan rugi sinkron adalah ketidakseimbangan antara pembangkit daya dan pembangkit beban dalam keadaan transien yang menyebabkan rotor mesin sinkron berayun akibat torsi yang mengakibatkan percepatan atau perlambatan rotor. Hal ini terjadi apabila torsi cukup besar, maka satu atau lebih mesin sinkron akan kehilangan sinkronisasi, misalnya terjadi ketidakseimbangan akibat pembangkitan daya yang berlebihan, kemudian sebagian besar kelebihan energi tersebut akan diubah menjadi energi kinetik sehingga terjadi percepatan pada rotor. peningkatan sudut Besar, meskipun kecepatan rotor meningkat, bukan berarti sinkronisasi mesin akan hilang, faktor penentunya adalah perbedaan sudut rotor atau daya diukur terhadap referensi putaran sinkronisasi.

Faktor utama dalam masalah stabilitas adalah:

1. Faktor mekanis dapat berupa:
 - A. Torsi input beban prima.
 - B. Inersia penggerak utama dan generator.
 - C. Inersia motor dan sumbu beban.
 - D. Memuat torsi poros input.
2. Torsi listrik dalam bentuk:
 - A. Tegangan internal dari generator sinkron.
 - B. Reaktansi Sistem.

Tegangan internal motor sinkron.



Gambar 1. Diagram faktor utama dalam masalah stabilitas

Tegangan generator konstan dengan reaktansi sumbu transien langsung X. Representasi titik tegangan terminal generator V_g dapat dihilangkan dengan mentransformasikan impedansi dari hubungan Y ke hubungan , sehingga penerimaan yang dihasilkan adalah:

$$kamu_{10} = \frac{+Z_L +}{jX'_D ZS \quad jX'_D ZL \quad ZLZS}$$

$$k_a = \frac{jX_D}{jX'_D Z_S + jX'_D Z_L + Z_L Z_S} \quad (2.1)$$

$$k_a = \frac{u_{20}}{jX'_D Z_S + jX'_D Z_L + Z_L Z_S}$$

$$u_{20}$$

Rangkaian ekuivalen dengan tegangan diwakili oleh titik 1 dan bus tak terbatas oleh titik 2 dapat ditunjukkan pada gambar 2

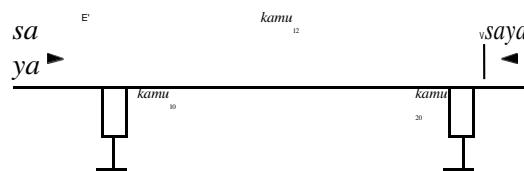
Penulisan persamaan simpul adalah:

$$saya_1 = (kamu_{10} + kamu_{12})E - k \quad (2.2)$$

$$amu_{12}V$$

$$saya_2 = -kamu_{12}E + (kamu_{20} +$$

$$kamu_{21})V$$



Gambar 2. Sirkuit ekuivalen dari satu mesin yang terhubung ke bus tak terbatas

$$P_e = R \left[\cdot E' \times I_1^* \right]$$

$$P_e = R \left[\cdot |E'| \angle \delta \cdot (|kamu_{11}| \angle -\theta_{.11} |E'| \angle -\delta + |kamu_{12}| \angle -\theta_{.12} |V| \angle 0) \right]$$

atau

$$P_e = |E'|^2 \left[\frac{|kamu_{11}|}{\sin \theta_{.11}} + |E'| |V| \frac{|kamu_{12}|}{\sin(\delta - \theta_{.12})} \right] \quad (2.20)$$

Jika nilai $\theta_{.11} = \theta_{.12} = 90^\circ$, dan $Y_{12} = B_{12} = \frac{1}{x_{12}}$, akan

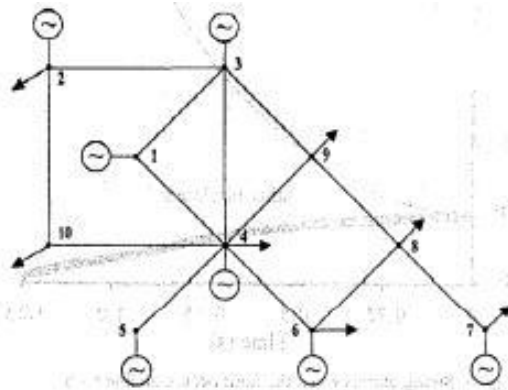
$$P_e = |E'| |V| \frac{|B_{12}|}{\sin(\delta - 90^\circ)}$$

atau

$$P_e = \frac{|E'| |V|}{x_{12}} \cos \delta \quad (2.4)$$

METODE PENELITIAN

Kriteria luas yang sama diperluas diterapkan untuk mempelajari stabilitas transien sistem tenaga listrik disajikan pada Gambar. 3 [10]. Gangguan tiga fasa di beberapa lampu transmisi yang terhubung ke busbar generator disimulasikan. Gangguan yang sama juga disimulasikan pada jalur 6-8 di dekat busbar beban 8. Dekat busbar 9 dan 10 efek gangguan tidak dianalisis, karena kondisi bukaan kritis yang dapat diperoleh lebih besar dari 1.0 s [11]. Untuk setiap gangguan sesar di atas penelitian ini keluar dengan mempertimbangkan semua mesin sinkron yang terhubung. tripping selektif dari satu atau lebih generator dalam stabilitas transien jaringan listrik,

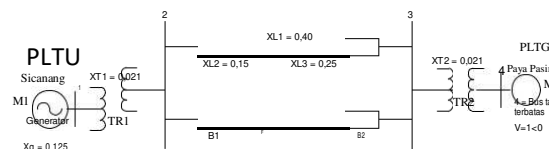


Gambar 2. Sistem Tenaga Listrik

Tabel 1.Data Saluran Transmisi

Line	Resistance	Reactance	Susceptance
1 - 3	0.0099	0.0484	0.1013
1 - 4	0.0099	0.0484	0.0506
2 - 3	0.0450	0.1237	0.1013
3 - 4	0.0119	0.0780	0.1519
4 - 5	0.0040	0.0198	0.1013
4 - 6	0.0075	0.0198	0.6075
7 - 8	0.0119	0.0780	0.1519
6 - 8	0.0188	0.0628	0.1013
8 - 9	0.0488	0.1916	0.1013
3 - 9	0.0115	0.0553	0.1013
4 - 9	0.0488	0.1916	0.1013
2 - 10	0.0164	0.0638	0.1519
4 - 10	0.0164	0.0652	0.1519

Model sistem tenaga listrik yang menyangkut masalah stabilitas diambil dari single line di PLTU Sicanang ke PLTG Paya Pasir. Pada sistem tenaga listrik terdiri dari dua mesin dimana mesin 1 sebagai pembangkit tenaga (generator) di PLTU sicanang dan mesin 2 dipasang pada Infinite bus yang ada di PLTG Paya Pasir, dua Trafo masing-masing trafo 1 sebagai step up (Step Up) Di PLTU Sicanang dan trafo 2 sebagai step up (tegangan) di PLTG Paya Pasir.



Gambar 3.Single line pada saluran transmisi dari PLTU Sicanang sampai ke PLTG Paya Pasir

- M1, M2 = Generator dan Bus Tak Terbatas
- TR1, TR2 = Transformator Daya
- B1, B2 = Pemutus arus
- F = Saluran yang terganggu

Tabel 2.Saluran Reaktansi

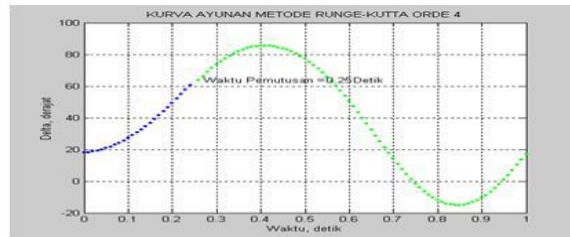
Tidak	Parameter-parameter	Reaktansi (X) pu
1.	Pembangkit reaktansi (Xq)	j0,125
2.	Reaktansi Trafo 1 (XT1)	j0,021
3.	Reaktansi Trafo 2 (XT2)	j0,021
4.	Saluran Transmisi Reaktansi 1 (XL1)	j0,40
5.	Saluran Transmisi Reaktansi 2 (XL2)	j0,15
6.	Saluran Transmisi Reaktansi 3 (XL3)	j0,25
7.	Memuat tegangan referensi	1,0∠ 0
		0

Dengan infinite bus (bus 4) pada sistem ini daya serap $S = 1.0 + j0,2$ maka kita akan menentukan Sudut Kritis Kliring dan Waktu Kritis Kliring dengan Asumsi bahwa $H = 4,37$ MJ/MVA.

HASIL ANALISIS.

Untuk menentukan critical clearing time kita bisa memasukkan nilai di atas 0 detik sampai 1 detik, dalam penelitian ini waktu yang akan digunakan adalah 0.25 detik, 0.35 detik, 0.40 detik dan 0.60 detik.

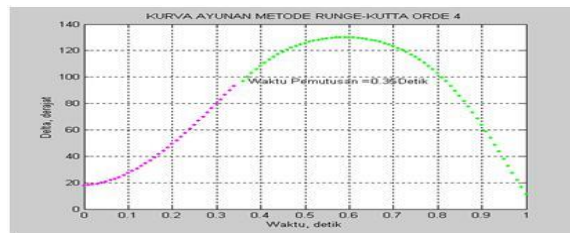
1) Pemutusan pada 0,25 detik:



Gambar 4. Grafik hubungan waktu wye dan delta pada terminasi 0,25 detik

Dapat ditunjukkan pada grafik bahwa break di 0,25 menunjukkan sistem yang stabil karena grafik menunjukkan ayunan. Pada perhitungan harga delta dan omega dengan metode Runge-Kutta orde 4 menggunakan program Matlab menunjukkan sudut terminasi lebih kecil dari titik putus kritis ($\delta_p < \delta_k$) dengan nilai 60,6230 di bawah atau sama dengan 97,78320.

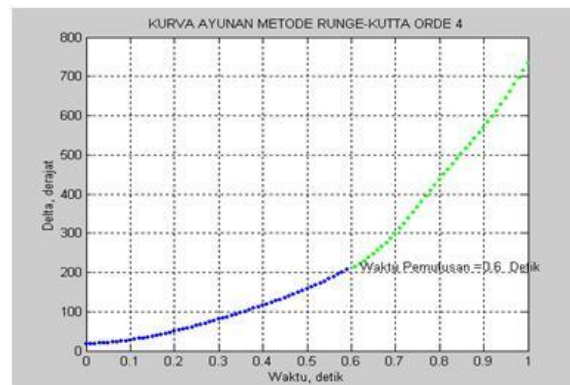
2) Pemutusan 0,35 detik :



Gambar 5. Greph Relation waktu wye dan delta pada terminasi 0,35 detik

Terlihat pada grafik bahwa break di 0,35 menunjukkan sistem yang stabil karena grafik menunjukkan ayunan. Pada perhitungan harga delta dan omega dengan metode Runge-Kutta orde 4 menggunakan program Matlab menunjukkan sudut terminasi lebih kecil dari titik putus kritis ($\delta_p < \delta_k$) dengan nilai 93,3010 dibawah atau sama dengan 97,78320.

1) Pemutusan pada 0,60 Detik :



Gambar 6. Sebuah Grafik Relasi waktu wye dan delta pada terminasi 0,35 detik

Dari hasil data tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- solusi yang diperoleh dengan formulasi langsung yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan hasil perhitungan dengan metode Runge-Kutta;
- tripping selektif dari satu atau lebih unit pembangkit setelah terjadinya gangguan parah dapat berhasil digunakan untuk meningkatkan stabilitas transien daya sistem;
- jika terjadi ketidakstabilan multi mesin seperti yang ditunjukkan pada tabel 5, keamanan sistem tenaga memerlukan tripping simultan satu mesin dari busbar set kritis;
- nilai yang diperoleh dari peningkatan torsi elektromagnetik yang tiba-tiba dari generator yang tersisa setelah satu atau lebih unit daya trip dapat menjadi salah satu parameter yang di masa depan bekerja akan digunakan untuk menetapkan kriteria untuk menganalisis umur kelelahan poros rotor.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan aliansi kestabilan sistem tenaga pembangkit listrik Sicanang Belawan dengan metode Runge-Kutta orde 4 menggunakan program Matlab didapat :

1. Terminasi pada 0,25 detik menunjukkan sistem stabil karena grafik menunjukkan ayunan. Sudut pemutusan lebih kecil dari titik putus kritis ($\delta_p < \delta_k$) dengan nilai 60,6230 di bawah atau sama dengan 97,78320.
2. Terminasi pada 0,35 detik menunjukkan sistem stabil karena grafik menunjukkan ayunan. Sudut pemutusan lebih kecil dari titik putus kritis ($\delta_p < \delta_k$) dengan nilai 93,3010 di bawah atau sama dengan 97,78320
3. Terminasi pada 0,40 menunjukkan sistem yang tidak stabil karena grafik tidak menunjukkan ayunan. Sudut putus putus tersebut melebihi titik putus kritis ($\delta_p > k$) dengan nilai 111,3770 yang seharusnya di bawah atau sama dengan 97,78320.
4. Terminasi pada 0,60 menunjukkan sistem tidak stabil karena grafik tidak menunjukkan ayunan. Sudut pemutusan melebihi titik pemutusan kritis ($\delta_p > k$) dengan nilai 207.2500 yang seharusnya di bawah atau sama dengan 97.78320.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cekdin Cekmas, 2006, "Sistem Tenaga Listrik", Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [2]. Dibylo HL, 2008, "Studi Kestabilan Transient Sistem Tenaga Listrik Multimesin (Model IEEE 9 Bus 3 Mesin", Jurnal Teknik No.30 Vol.1 Thn. XV November 2008, Andalas.
- [3]. Dibylo HL, dan Suri A., 2012, "Studi Kestabilan Peralihan dengan Metoda Kriteria Sama Luas", Jurnal Teknik Vol.19 No.1 April 2012, Andalas.
- [4]. Gross CA, 1979, "Analisis Sistem Tenaga", John Wiley & Sons, New York.
- [5]. Hanselman, D., dan B. Littlefield, 2000, "Matlab Bahasa Komputasi Teknis", Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [6]. L Bijang Nathaniel, 2012, "Analisa Waktu Pemutusan Suatu Sistem Kelistrikan", Jurnal Ilmiah Sains Vol.12 No.2 Oktober 2012, Politeknik Negeri Manado.
- [7]. Ontosena Penangsang dan Sabar Setya Widayat. 2001. "Alalisa Stabilitas Transient Multimesin Dengan Metode Extended Equal Area Criterion", PPs ITS Surabaya.
- [8]. SH, Horowitz [et al.], "Torsi dan kelelahan poros Turbin-Generator: Bagian I – Metode simulasi dan analisis kelelahan; Bagian II - Dampak gangguan sistem dan penutupan kembali kecepatan tinggi". Transaksi IEEE pada Peralatan dan Sistem Tenaga, vol. PAS-98, n.6, November/Des. 1979, hlm. 2299-2328.
- [9]. Y. Xue, [et al.], "Kriteria area yang sama diperluas ditinjau kembali". Transaksi IEEE pada Sistem Tenaga, vol. 7, n. 3, Agustus 1992, Laporan Gugus Tugas IEEE, "Sebuah deskripsi kontrol tambahan diskrit untuk stabilitas", Transaksi IEEE pada Power Apparatus and Systems, vol. PAS-97 n. 1 Januari 1978, hlm.149-165.
- [10]. MA Pai, Stabilitas Sistem Tenaga: Analisis dengan Metode Langsung dari Lyapunov, Amsterdam, Belanda, Perusahaan Penerbit Belanda Utara, 1981,-. 162-165. MH Haque, "Perkembangan lebih lanjut dari kriteria area yang sama untuk sistem tenaga multimesin", Riset Sistem Tenaga Listrik, vol. 33,n."3, 1995, hlm.'175-183. hal. 563-567. hal. 1012-1022.