EVALUASI KESTABILAN PERALIHAN MESIN TUNGGAL DENGAN METODA RUNGE KUTTA ORDE 4 (Studi Kasus : Sistem Kelistrikan Sumatera)

Heru Dibyo Laksono[1], Alrino Rizki Ramadhan[2]
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas Padang, Kampus Limau Manis,
Padang, Sumatera Barat
Email : heru_dl@ft.unand.ac.id

Abstrak—Jurnal ini membahas tentang evaluasi dan perhitungan waktu pemutusan kritis dari sistem kelistrikan Sumatera melalui studi kestabilan peralihan dengan menggunakan metoda Runge-Kutta Orde 4. Untuk jenis gangguan peralihan yang digunakan adalah gangguan tiga fasa simetris dengan bantuan perangkat lunak Matlab. Hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai waktu pemutusan kritis terkecil terjadi antara PLTGU Belawan – GI Binjai dan PLTU Ombilin – GI Batusangkat sebesar 0.24 detik. Sedangkan waktu pemutusan kritis terbesar terjadi pada PLTG Pauh Limo – GI Indarung sebesar 1.14 detik..

Kata Kunci : Stabilitas peralihan, runge – kutta orde 4, waktu kritis pemutusan

Abstract—The journal discusses the evaluation and calculation of the termination time of the critical electrical system stability studies Sumatra through the transient stability by using the Runge-Kutta method Order 4. For this type of disorder transition used is a three-phase symmetrical disorder with the help of MATLAB software. The calculation result shows that the value of the smallest critical time termination occurs between PLTGU Belawan - GI Ombilin Binjai and power plant - GI Batusangkat at 0:24 seconds. While the most critical time of termination occurs at a power plant Pauh Limo - GI Indarung at 1:14 seconds.

Keywords : Stabilitas peralihan, runge – kutta orde 4, waktu kritis pemutusan .

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di masyarakat semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pemanfaatan tenaga listrik pada peralatan-peralatan rumah tangga, kantor dan sebagainya, sehingga pasokan listrik harus ditambah yakni dengan pembangunan pembangkit listrik baru. Selain tersedianya pembangkitan yang cukup, hal lain yang juga harus ditentukan adalah apakah kondisi peralihan jika terjadi gangguan pada pembangkit akan mengganggu operasi normal sistem atau tidak. Hal ini akan berhubungan dengan kualitas listrik yang sampai ke konsumen berupa kestabilan frekuensi dan tegangan.

Suatu sistem tenaga listrik dapat dinyatakan bekerja dengan baik jika sistem tersebut mampu melayani beban secara kontinu pada tegangan dan frekuensi konstan. Agar dapat bekerja dengan baik, maka sistem tenaga listrik harus memiliki kemampuan untuk menjaga kestabilannya. Kemampuan sistem tenaga listrik untuk menjaga kestabilannya dapat dinyatakan sebagai stabilitas sistem tenaga. Stabilitas sistem tenaga merupakan sifat dari suatu sistem tenaga yang memungkinkannya tetap berada pada keseimbangan pada kondisi operasi normal dan mampu untuk kembali seimbang setelah mengalami suatu gangguan. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh berbagai hal dengan tingkat pengaruh yang beragam pula. Diantara gangguan yang dapat terjadi diantaraya perubahan kondisi sistem yang seketika, yang biasanya terjadi akibat adanya gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik dan pelepasan atau penambahan beban yang besar

secara tiba-tiba dapat mengganggu kestabilan yang dimiliki sistem tenaga listrik.

Jika sistem tidak dapat menangani gangguan yang terjadi tepat pada waktunya, maka sistem dapat dinyatakan tidak stabil dan ketidakstabilan akan mempengaruhi seluruh sistem yang ada. Ketidakstabilan yang terjadi pada suatu sistem pembangkitan tenaga listrik mengakibatkan generator kehilangan keserempakannya (tidak sinkron). Diperlukan suatu analisa kestabilan untuk menentukan karakteristik suatu sistem tenaga sehingga dapat dilakukan upaya untuk menjaga sinkronisasi suatu sistem. Kondisi peralihan dari sistem tenaga listrik pada saat gangguan dinyatakan secara matematis melalui persamaan linear diferensial. Salah satu metoda yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan linear diferensial adalah Metoda Runge-Kutta Orde 4. Meskipun metoda ini hanya dapat diaplikasikan pada satu pembangkit, namun metoda ini secara cepat dapat menentukan nilai waktu kritis pemutusan (*critical clearing time*). Beberapa studi stabilitas dengan metoda Runge Kutta Orde 4 telah dilakukan diantaranya oleh [1] dimana studi kestabilan peralihan yang dilakukan untuk menentukan waktu pemutusan dari suatu model sistem tenaga listrik dengan menggunakan metoda Runge Kutta Orde 4 dengan bantuan prangkat lunak Matlab. [2] melakukan prediksi tentang waktu kritis pemutusan dari sistem kelistrikan Jawa-Bali 500 KV dengan menggunakan metoda Runge Kutta Orde 4. [3] melakukan studi kestabilan dengan menggunakan matlab menggunakan metoda Runge Kutta Orde 4. [4] melakukan penentuan sudut kritis dan waktu kritis pada pembangkit dengan dua generator.

Sistem kelistrikan Sumatera merupakan sistem yang menyediakan kebutuhan energi listrik untuk para konsumen di Pulau Sumatera. Sistem kelistrikan Sumatera ini terdiri dari berbagai jenis pembangkit yang tersebar di berbagai lokasi di Pulau Sumatera mulai dari Aceh sampai Lampung. Agar sistem kelistrikan Sumatera ini mempuyai performansi yang baik dan andal maka perlu dilakukan berbagai kajian, salah satunya kajian kestabilan peralihan untuk menentukan waktu kritis pemutusan jika terjadi gangguan. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu kritis pemutusan gangguan sistem kelistrikan Sumatera melalui studi peralihan. Adapun batasan dari penelitian ini adalah

- Perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan metoda Newton Raphson.
- Dalam menentukan nilai daya masukan maksimum dan sudut kritis pemutusan gangguan menggunakan metoda kriteria sama luas yang diterapkan pada satu pembangkit..
- Model dinamik pembangkit sebagian merupakan data tipikal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas sistem tenaga listrik dinyatakan sebagai sifat dari suatu sistem tenaga listrik yang memungkinkannya tetap berada pada keseimbangan operasi pada kondisi operasi normal dan mampu untuk kembali seimbang setelah mengalami suatu gangguan. Suatu generator dapat bekerja pada operasi yang stabil saat terdapat keseimbangan antara daya masukan mekanis dengan daya keluaran listrik pada sistem dan saat kondisi operasi stabil tersebut, generator berputar pada kecepatan sinkron. Ketidakseimbangan antara daya masukan mekanis dan daya keluaran listrik dapat menyebabkan sinkronisasi generator hilang dan dapat mengganggu sistem yang lain. Ketidakstabilan dapat disebabkan oleh perubahan yang terjadi pada sumber penggerak utama, perubahan pada beban dan gangguan-gangguan lainnya. Perubahan-perubahan yang terjadi mengakibatkan ketidakseimbangan antara daya mekanis dan listrik. Kelebihan daya mekanis terhadap daya listrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya, bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera maka percepatan dan perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem. Berdasarkan sifat gangguan, stabilitas sistem tenaga listrik dibedakan atas beberapa bagian diantaranya:

1. Stabilitas keadaan mantap (*steady state*).
2. Stabilitas keadaan peralihan (*transient*).
3. Stabilitas sub peralihan (dinamis).

Stabilitas keadaan mantap adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil. Stabilitas keadaan peralihan adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak sekitar satu ayuna pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis belum bekerja. Stabilitas dinamis adalah bila setelah kondisi peralihan sistem mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem dalam keadaan seimbang yang baru.

2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Suatu generator dapat bekerja pada operasi yang stabil saat terdapat keseimbangan antara daya masukan daya mekanis dengan daya keluaran elektrik pada sistem. Saat kondisi operasi stabil, generator berputar pada kecepatan sinkron. Perubahan yang terjadi pada sumber penggerak utama, perubahan pada beban, dan gangguan-gangguan lainnya dapat mengakibatkan ketidakseimbangan antara daya mekanis dan elektrik. Kelebihan daya mekanis terhadap daya elektrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya [5]. Bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera maka percepatan atau perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem [6]. Selain itu beberapa teori pendukung yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya persamaan ayunan [5], pemodelan mesin sinkron dalam studi kestabilan [6], kriteria sama luas untuk menentukan stabilitas peralihan [5] dan aplikasi kriteria sama luas untuk kasus gangguan tiga fasa [7] dan metoda Runge-Kutta Orde 4 [5].

2.2 Metoda Runge Kutta Orde 4

Metode Runge-Kutta dikembangkan untuk menghindari penghitungan turunan-turunan yang berorde lebih tinggi. Sebagai ganti dari turunan-turunan ini maka digunakan nilai-nilai tambahan dari fungsi $f(x,y)$ Kesederhanaanya telah membuat metoda ini menjadi sangat populer. Dengan Penyelesaian Runge-Kutta Orde 4, dimana untuk menentukan harga x(t), tentukan terlebih dahulu empat konstanta dalam bentuk persamaan (1) s/d (4) berikut

$$k_1 = f(t_i, x_i)\Delta t \quad (1)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{1}{2}\Delta t,\ x_i + \frac{1}{2}k_1\right)\Delta t \quad (2)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{1}{2}\Delta t,\ x_i + \frac{1}{2}k_2\right)\Delta t \quad (3)$$

$$k_4 = f(t_i + \Delta t,\ x_i + k_3)\Delta t \quad (4)$$

Sehingga algoritma perhitungan untuk harga x berturut-turut dapat dicari dengan persamaan berikut

$$x_{i+1} = x_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (5)$$

Untuk menentukan penyelesaian persamaan ayunan dimana daya masukan P_m diasumsikan konstan, pada operasi keadaan mantap dimana $P_e = P_m$ dan sudut daya mula-mula dinyatakan dalam bentuk persamaan (6) berikut

$$\delta_0 = \sin^{-1}\left(\frac{P_m}{P_{1max}}\right) \quad (6)$$

Dimna

$$P_{1max} = \frac{|E'||V|}{X_1} \quad (7)$$

dan X_1 adalah reaktansi transfer sebelum gangguan. Rotor berputar pada kecepatan sinkron dan kemudian kecepatan putar berubah menjadi nol, sehingga diperoleh persamaan (8) berikut

$$\omega_0 = 0 \quad (8)$$

Gangguan tiga fasa terjadi salah satu pertengahan saluran sehingga persamaan sudut daya dinyatakan dalam bentuk persamaan (9) berikut

$$P_{2max} = \frac{|E'||V|}{X_2} \quad (9)$$

dan X_2 adalah reaktansi transfer selama gangguan. Dengan demikian persamaan ayunan dinyatakan dalam bentuk persamaan (10) berikut

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f_0}{H}\left(P_m - P_{2max}\sin\delta\right) = \frac{\pi f_0}{H}P_a \quad (10)$$

Persamaan (10) ditransformasikan kedalam bentuk persamaan (11) dan (12) berikut

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega \quad (11)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi f_0}{H} P_a \quad (12)$$

Untuk menentukan harga δ dan ω dengan penyelesaian metoda Runge-Kutta orde 4, terlebih dahulu tentukan harga-harga K_1, K_2, K_3, K_4, l_1, l_2, l_3 dan l_4 sebagai berikut:

$$k_1 = f(\delta_i, \omega_i)\Delta t = \omega_i \Delta_t \quad (13)$$

$$l_1 = g(\delta_i, \omega_i)\Delta_t = \frac{\pi f}{H}(P_m - P_e)\Delta_t \quad (14)$$

$$k_2 = f\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_1, \omega_i + \frac{1}{2}l_1\right)\Delta t = \left(\omega_i + \frac{1}{2}l_i\right)\Delta_t \quad (15)$$

$$l_2 = g\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_1, \omega_i + \frac{1}{2}l_i\right)\Delta_t$$

$$l_2 = \frac{\pi f}{H}\left(P_m - P_e \sin(\delta_i + \frac{1}{2}k_1)\right)\Delta_t \quad (16)$$

$$k_3 = f\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_2, \omega_i + \frac{1}{2}l_2\right)\Delta_t$$

$$k_3 = \left(\omega_i + \frac{1}{2}l_2\right)\Delta_t \quad (17)$$

$$l_3 = g\left(\delta_i + \frac{1}{2}k_2, \omega_i + \frac{1}{2}l_2\right)\Delta_t$$

$$l_3 = \frac{\pi f}{H}\left(P_m - P_e \sin(\delta_i + \frac{1}{2}k_2)\right)\Delta_t \quad (18)$$

$$k_4 = f(\delta_i + k_3, \omega_i + l_3)\Delta_t$$

$$k_4 = (\omega_i + l_3)\Delta_t \quad (19)$$

$$l_4 = g(\delta_i + k_3, \omega_i + l_3)\Delta_t$$

$$l_4 = \frac{\pi f}{H}\left(P_m - P_e \sin(\delta_i + k_3)\right)\Delta_t \quad (20)$$

Selanjutnya harga δ dan ω dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (21) dan (22) berikut

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (21)$$

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \quad (22)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun prosedur dari penelitian ini adalah

1. Pengumpulan data yang diperlukan terdiri data saluran, data pembangkitan dan data pembebanan sistem kelistrikan Sumatera.
2. Penentuan nilai pembangkitan daya aktif dan reaktif yang diperoleh dengan melakukan perhitungan aliran daya menggunaka metoda Newton Raphson.
3. Penerapan metoda kriteria sama luas untuk memperhitungkan kondisi stabilitas peralihan pembangkit untuk gangguan tiga fasa simetris.
4. Penentuan waktu kritis pemutusan gangguan dengan menggunakan metoda Runge-Kutta Orde 4.

IV. HASIL PEMBAHASAN

Hasil perhitungan untuk nilai waktu pemutusan kritis *critical clearing time* (CCT) pada pembangkit – pembangkit yang ada pada sistem kelistrikan Sumatera diperlihatkan pada Tabel 1. berikut

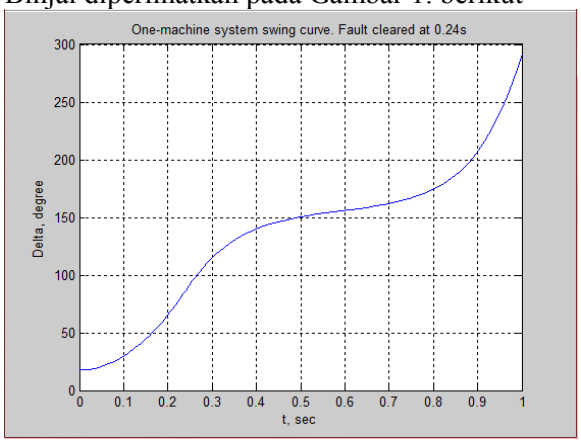
Tabel 1. Hasil Perhitungan Waktu Pemutusan Kritis Sistem Kelistrikan Sumatera

Pembagkit	Bus Tujuan	Saluran Terganggu	CCT (detik)
PLTGU Belawan	GI Binjai	1	0.2400
		2	0.2400
	GI Sei Rotan	1	0.2500
		2	0.2500
PLTU Belawan	GI Paya Pasir	1	0.3900
		2	0.3900
PLTA Koto Panjang	GI Payakumbuh	1	0.6200
		2	0.6200
PLTA Maninjau	GI Lubuk Alung	1	0.9200
		2	0.9200
PLTA Singkarak	GI Lubuk Alung	1	0.5000
		2	0.5000
PLTG Pauh Limo	GI Indarung	1	1.0400
		2	1.0400
PLTU Ombilin	GI Batu Sangkar	1	0.2400
		2	0.2400
	GI Kiliran Jao	1	0.2500
		2	0.2500
PLTA Musi	GI Pekalongan	1	0.3700
		2	0.3700
PLTU Bukit Asam	GI Lahat	1	0.4500
		2	0.4500

PLTG Keramasan	GI Bukit Siguntung	1	0.2600
		2	0.2600
	GIBungaran	1	0.2700
		2	0.2700
PLTA Besai	GI Keramasan	1	0.4800
		2	0.4800

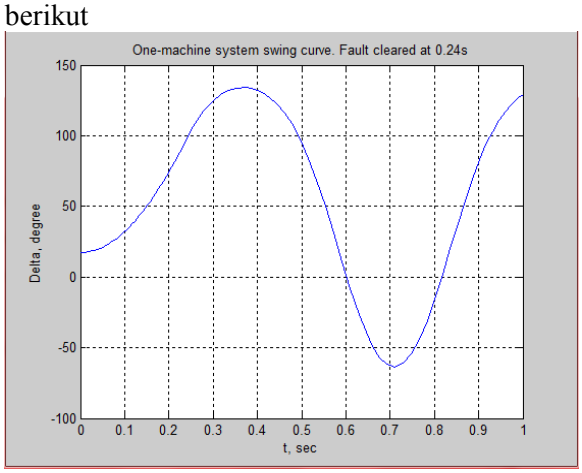
Berdasarkan hasil perhitungan nilai pemutusan gangguan dengan metoda Runge-Kutta orde 4 didapatkan bahwa nilai waktu pemutusan kritis terkecil terjadi jika terjadi gangguan antara PLTGU Belawan – GI Binjai dan PLTU Ombilin – GI Batusangkar yaitu sebesar 0.24 detik. Untuk waktu pemutusan kritis terbesar terjadi jika terjadi gangguan antara PLTG Pauh Limo – GI Indarung sebesar 1.0400 detik.

Untuk kurva ayunan sudut pemutusan saat terjadi gangguan antara PLTGU Belawan – GI Binjai diperlihatkan pada Gambar 1. berikut



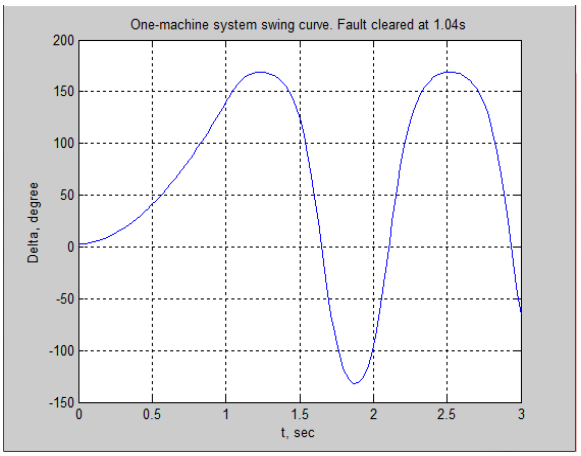
Gambar 1. Kurva Ayunan Sudut Pemutusan Saat Terjadi Gangguan Antara PLTGU Belawan – GI Binjai

Untuk kurva ayunan sudut pemutusan saat terjadi gangguan antara PLTU Ombilin – GI Batusangkar diperlihatkan pada Gambar 2. berikut



Gambar 2. Kurva Ayunan Sudut Pemutusan Saat Terjadi Gangguan Antara PLTU Ombilin – GI Batusangkar

Untuk kurva ayunan sudut pemutusan saat terjadi gangguan antara PLTG Pauh Limo – GI Indarung diperlihatkan pada Gambar 3. Berikut



Gambar 3. Kurva Ayunan Sudut Pemutusan Saat Terjadi Gangguan Antara PLTG Pauh Limo– GI Indarung

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- Nilai waktu pemutusan kritis terkecil terjadi jika ada gangguan antara PLTGU Belawan – GI Binjai sebesar 0.24 detik.
- Nilai waktu pemutusan kritis terbesar terjadi jika ada gangguan antara PLTG Pauh Limo – GI Indarung, sebesar 1.04 detik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ulum, Misbahul, *Studi Stabilitas Transient Tenaga Listrik dengan Metode Kriteria Luas Sama Menggunakan Matlab*, Universitas Negeri Surabaya, (2007).

[2] Irrine Budi Sulistiawati, Muhammad Abdillah, Adi Soeprijanto, *Prediksi Waktu Kritis Pemutusan Sistem Kelistrikkan Jawa – Bali 500 KV Dengan Menggunakan Metoda Runge – Kutta Orde 4*, Procedding, Seminar Sistem Tenaga

Listrik, Institute Teknologi Sepuluh November (ITS), (2006)
[3] Basu, Pranamita & Aiswarya Harichandan, *Power System Stability Studies Using Matlab*, National Institute of Technology Rourkela, (2008)
[4] Sudibya, Bambang, *Penentuan Sudut Kritis dan Waktu Kritis Pada Pembangkit Dengan Dua Generator*, Jurnal Litek Vol. 6, (2009)
[5] Hadi Saadat, *Power System Analysis*, McGraw Hill, New York (1999)
[6] Kundur, Prabha, Power System Stability and Control, Prentice Hall, New Jersey,(1993)
[7] Jha Ankit, *Transient Stability Analysis Using Equal Area Criterion Using Simulink Model*, National Institute of Technology Rourkela, (2008)

Biodata Penulis

Heru Dibyo Laksono ST, MT, Lahir di Sawah Lunto, 7 Januari 1977, Menamatkan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas (Unand) Padang tahun 2000 bidang Teknik Tenaga Listrik. Pendidikan S2 bidang Kendali dan Sistem diselesaikan di Institute Teknologi Bandung (ITB) tahun 2004. Masuk sebagai dosen Teknik Elektro Universitas Andalas sejak tahun 2005.

Alrino Rizki Ramadhan ST, terdaftar pada bulan Agustus 2007 dan menyelesaikan program sarjana di Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas tahun 2012 dengan bidang keahlian kendali sistem tenaga listrik.