

STUDI STABILITAS PERALIHAN SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODA EKSPANSI DERET TAYLOR MENGUNAKAN PERHITUNGAN PROGRAM FORTRAN

Aris Suryadi¹

¹Dosen Tetap Politeknik Enjinering Indorama

e-mail : aris.poltek.indorama@gmail.com aris.suryadi@pei.ac.id

Abstrak : Kestabilan suatu sistem tenaga listrik merupakan masalah yang sangat penting dalam upaya memelihara pengadaan energi listrik yang andal. Analisa sistem tenaga listrik bertujuan untuk melihat kondisi sistem apakah berada pada keadaan stabil atau tidak, setelah mengalami gangguan yang berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem.

Penelitian ini menerapkan Metoda Ekspansi Deret Taylor dengan bantuan dalam perhitungan menggunakan Bahasa Program Fortran, dimana dalam penentuan batas kestabilan sistem tenaga pada ayunan pertama melalui penyelidikan puncak sudut rotor generator-generator yang mengalami gangguan-gangguan.

Nilai puncak sudut rotor diselidiki dengan pengamatan akar-akar dari turunan pertama sudut rotor terhadap waktu dari generator-generator dengan menggunakan Ekspansi Deret Taylor. Batas kestabilan yang berkaitan dengan waktu pemutusan kritis merupakan nilai maksimum dari lamanya suatu gangguan, bila paling sedikit terdapat satu akar real positif dari turunan sudut yang bersangkutan.

Kata Kunci : sudut rotor, ayunan pertama, waktu pemutusan kritis

Abstract : *The stability of the electric power system is a very important issue in efforts to maintain reliable electrical energy supply. Analysis of electric power system aims to see whether the condition of the system is at steady state or not, after experiencing interference that comes from within the system and outside the system.*

This research applies Taylor series expansion method to aid in calculations using Fortran Programming Language, in which the delimitation of power system stability on the first swing through the investigation peak rotor angle generators were experiencing disturbances.

The peak value of the rotor angle investigated by observing the roots of the first derivative of the rotor angle with respect to time of the generators by using a Taylor series expansion. Limit of stability with regard to the critical disconnection time is the maximum value of the duration of a disturbance, if there is at least one positive real root of the derivative of the angle concerned.

Keyword : *rotor angle, first swing, critical disconnection time.*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kestabilan merupakan salah satu parameter yang penting dalam menentukan

pendekatan dari suatu sistem. Terlebih untuk sistem-sistem yang digunakan selama 24 jam sehari seperti sistem tenaga listrik, yang tentunya di dalam pengoperasiannya selalu dipelihara supply tegangan listrik jala-jala untuk para penggunaanya agar tetap berada dalam batas-batas yang aman. Hal ini hanya bisa dilakukan dengan koordinasi design yang baik dari tahap perencanaan sampai pada saat pengoperasiannya.

Masalah stabilitas dalam sistem tenaga listrik adalah menyangkut kemampuan sistem untuk kembali ke kondisi stabil setelah mengalami gangguan.

Di dalam sistem tenaga dibedakan menjadi 3 (tiga) stabilitas [17] :

1. Stabilitas Mantap (*steady state stability*), menyangkut kemampuan sistem untuk tetap dalam keadaan sinkron setelah adanya perubahan daya relatif lambat.
2. Stabilitas Dinamik (*dynamic stability*), menyangkut kemampuan sistem untuk tetap dalam keadaan sinkron setelah ayunan pertama rotor sampai sistem mencapai kesetimbangan tetap, baru dimana governor telah mulai bekerja.
3. Stabilitas Peralihan (*transient stability*), menyangkut kemampuan sistem untuk tetap dalam keadaan sinkron setelah adanya perubahan daya yang cukup besar, seperti akibat terjadinya gangguan hubung singkat.

1.2. Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui suatu sistem tenaga listrik stabil atau tidak dengan menentukan terlebih dahulu nilai batas stabilitas.
2. Menentukan lama waktu pemutusan kritis (*critical clearing time*) terhadap gangguan, terutama gangguan hubung singkat tiga fasa.
3. Batas stabilitas dan waktu pemutusan kritis dikaitkan dengan nilai maksimum lamanya gangguan dari penyelidikan adalah bila paling sedikit satu dari akar-akar turunan pertama sudut rotor adalah positif nyata.

1.3. Pembatasan Masalah

Batasan – batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengaruh-pengaruh governor dan AVR diabaikan, karena dalam waktu singkat kedua peralatan tersebut masih dianggap belum memberikan reaksinya. Sudut rotor (θ_1) untuk masing-masing generator sama dengan sudut fasa dari tegangan internal generator.
2. Gangguan tiga fasa tidak diperhitungkan. Gangguan tiga fasa yang terjadi di saluran dengan asumsikan saluran tersebut dilepas oleh switching. Untuk saluran tunggal atau ganda pada sistem apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran dianggap saluran tersebut dilepas oleh switching.

3. Dengan adanya pelepasan saluran oleh switching akibat gangguan tiga fasa akan berdampak terganggunya bus, hal ini sebagai indikasi untuk menentukan gangguan pada mesin yang terdekat atau pembangkit.

1.4. Tinjauan Pustaka

Adapun penelitian ini didapatkan dari membaca beberapa proposal yang diteliti oleh para ahli diantaranya metoda yang digunakan untuk sistem linear metoda Routh-Hourwitt dengan melihat akar persamaan karakteristik sistem, metoda Root Locus dengan melihat akar persamaan katrakteristik dalam sumbu koordinat kompleks.

Selain itu untuk sistem non-linear digunakan metoda Phase Plane dan Describing Functions dengan pendekatan grafis, dan metoda Lyapunov menggunakan pendekatan grafis serta metoda Popov yang mendekati permasalahan dengan penerapan kriteria tertentu pada sistem.[13]

1.5. Metodologi Penelitian

Mengamati dan menganalisa dari beberapa jurnal tentang penyelidikan masalah kestabilan peralihan yang kemukakan dengan berbagai metoda dipilihlah metoda ekspansi Deret Taylor. Melakukan penelitian pada sistem PLN Sumbar 150 kV tahun 1997.

2. Metoda

2.1. Survei Data

Survei dilakukan secara langsung mengumpulkan data yang diperlukan untuk melakukan penelitian pada sistem kelistrikan PLN Sumbar 150 kV.

2.2. Data Hasil Survey

Table 1. Data Kapasitas Pembangkit Sistem Sumbar. [1]

NO	PEMBANGKIT	UNIT	DAYA (MW)	JUMLAH (MW)	MPT (MW)	MPU (MW)	Konstanta Inersia M (MJ/MVA)
1	PLTU OMBILIN	2	100.00	200.00	200.00	200.00	5.00
2	PLTG PAUH LIMO	3	21.35	64.05	64.05	48.00	4.00
3	PLTA MANINJAU	4	17.00	68.00	68.00	68.00	3.00
4	PLTA SINGKARAK	4	43.75	175.00	175.00	87.50	3.00

Table 2. Data Saluran Transmisi. [1]

No. Sal	Nomor Bus		R (p.u)	X (p.u)
	Awal	Akhir		
1	1	2	0.0013	0.00456
2	2	3	0.0144	0.05178

3	3	4	0.0179	0.06386
4	4	5	0.0035	0.01255
5	5	6	0.0177	0.06351
6	5	11	0.0037	0.01319
7	6	8	0.0297	0.10685
8	6	12	0.0045	0.02213
9	7	8	0.0220	0.07616
10	7	9	0.0168	0.05803
11	9	10	0.0138	0.04970
12	1	4	0.0335	0.12051
13	1	10	0.0148	0.05330
14	10	12	0.0274	0.08390
15	10	13	0.0157	0.04820

Table 3. Data Bus Pembangkitan dan Pembebanan. [1]

No. BUS	TIPE BUS	Teg. BUS (kV)	Sudut (Rad)	Pembangkitan		Pembebanan	
				Pg (MW)	Qg (MVAR)	Pb (MW)	Qb (MVAR)
1	SLACK	151.5000	0.0000	85.4140	49.1523	0.0000	0.0000
2	PQ	151.3667	-0.0022	0.0000	0.0000	4.4000	2.1100
3	PQ	150.6537	-0.0150	0.0000	0.0000	14.8000	7.1000
4	PQ	150.8582	-0.0238	0.0000	0.0000	64.8000	31.1000
5	PV	150.5000	-0.0220	40.0000	15.0000	51.4000	24.6700
6	PQ	151.0619	-0.0121	0.0000	0.0000	47.3000	22.7000
7	PQ	150.1765	-0.0195	0.0000	0.0000	21.8000	10.5500
8	PV	151.5000	-0.0114	48.0000	20.0000	11.8000	4.8500
9	PQ	149.3015	-0.0223	0.0000	0.0000	39.5000	18.9600
10	PQ	149.8882	-0.0143	0.0000	0.0000	17.2000	8.2600
11	PQ	151.4440	-0.0225	0.0000	0.0000	4.6000	2.2100
12	PV	151.5000	-0.0012	120.0000	60.0000	0.0000	0.0000
13	PQ	149.0448	-0.0201	0.0000	0.0000	14.3000	6.8600

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1.Representasi Sistem

Dalam studi kestabilan adalah menentukan apakah rotor mesin yang terganggu dapat kembalike keadaan kerja dengan kecepatan konstan, atau tidak. Hal ini

berarti kecepatan rotor harus menyimpang dari kecepatan serempak, setidaknya untuk sementara waktu.

Kestabilan sistem daya dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal serta balik kembali ke keadaan semula bila keadaan menjadi normal.

Suatu sistem tenaga dikatakan stabil pada ayunan pertama (*first swing stable*) semua sudut rotor generator dalam sistem *Centre Of Angle (COA)* pada *reference frame* akan naik (atau turun) sampai puncak (atau lembah) dimana pergerakan sudut rotor mulai berbalik arah. Sistem tidak stabil pada ayunan pertama bila sudut dari suatu generator naik turunnya secara monoton.[14]

Secara matematis sistem dapat dikatakan stabil pada ayunan pertama jika pertidaksamaan berikut terpenuhi :

$$|\theta_1(t_1) + \varepsilon| < |\theta_1(t_1)| \quad (1)$$

Untuk generator dengan t_1 ($>$ waktu pemutusan) merupakan waktu tercapainya harga puncak (atau lembah) dari sudut rotor generator ke - i dan adalah bilangan kecil positif tertentu. Bila sistem stabil pada ayunan pertama, maka umumnya sistem governor, redaman pada sistem , dan lain sebagainya akan membantu sistem untuk tetap stabil pada ayunan-ayunan berikutnya.

Pada sistem tenaga dengan n buah mesin, kinerja dinamik tingkat dua dari generator ke-i dalam *Centre Of Angle (COA)* reference frame dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan diferensial sebagai berikut [8]:

$$\dot{\theta} = \omega_i \quad (2)$$

Dan :

$$\dot{\theta} = \frac{[P_i - P_{ei} - \frac{M_i}{M_T} P_{COA}]}{M_i} \quad (3)$$

Dimana :

$$P_i = P_{mi} - E_i^2 G_{i,j} \quad (4)$$

$$M_T = \sum_{i=1}^n M_i \quad (5)$$

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^n C_{ij} \sin \theta_{ij} + D_{ij} \cos \theta_{ij} \quad (6)$$

$$P_{COA} = \sum_{i=1}^n P_i - 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n D_{ij} \cos \theta_{ij} \quad (7)$$

$$C_{ij} = E_i E_j B_{ij} \quad (8)$$

$$D_{ij} = E_i E_j G_{ij} \quad (9)$$

3.2.Menentukan Sudut Rotor dengan Ekspansi Deret Taylor

Keadaan sistem saat mengalami gangguan dari mesin ke-i dalam *COA reference frame* dapat didekati dengan ekspansi deret Taylor sebagai berikut [8]:

$$\theta_i(t) = \theta_i(0) + \theta_i^{(1)}t + \theta_i^{(2)}\frac{t^2}{2!} + \theta_i^{(3)}\frac{t^3}{3!} + \dots \quad (10)$$

Dan :

$$\omega_i(t) = \omega\theta_i(0) + \omega_i^{(1)}t + \omega_i^{(2)}\frac{t^2}{2!} + \omega_i^{(3)}\frac{t^3}{3!} + \dots \quad (11)$$

Jika gangguan ditiadakan pada saat $t = t_{cl}$ maka sudut rotor setelah gangguan dari generator ke-i dijelaskan dalam bentuk deret Taylor sebagai berikut [8] :

$$\theta_i(t_1) = a_{i0} + a_{i1}t_1 + a_{i2}t_1^{(2)} + a_{i3}t_1^{(3)} + \dots \quad (12)$$

Dengan :

$$t_i = t - t_{cl} \quad (13)$$

$$a_{i0} = \theta_i(t_{cl}) \quad (14)$$

$$a_{i1} = \omega_i(t_{cl}) \quad (15)$$

$$a_{im} = \frac{\theta_i^{(m)}}{m!} \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (16)$$

Koefisien-koefisien a dihitung pada saat $t = t_{cl}$ dengan menggunakan parameter-parameter jaringan setelah gangguan.

Koefisien-koefisien a dihitung dengan mencari besaran derivative dari θ_i sebagai berikut [9]:

$$\theta_i^{(2)} = \frac{1}{M} \left[P_m - \sum_{j=1}^n (C_{ij} \sin \theta_{ij} + D_{ij} \cos \theta_{ij}) - \frac{M_i}{M_T} \sum_{k=1}^n P_k + \dots + 2 \frac{M_i}{M_k} \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n D_{kj} \cos \theta_{kj} \right] \quad (17)$$

Dalam hal ini didefinisikan :

$$A_{ij} = (C_{ij} \sin \theta_{ij} + D_{ij} \cos \theta_{ij}) / M_i \quad (18)$$

$$B_{ij} = (-C_{ij} \cos \theta_{ij} + D_{ij} \sin \theta_{ij}) / M_i \quad (19)$$

$$F_{ij} = (2 \cos \theta_{ij}) / M_T \quad (20)$$

$$H_{ij} = (2 \sin \theta_{ij}) / M_T \quad (21)$$

Turunan terhadap waktu dari A,B,F dan H adalah :

$$\frac{dA_{ij}}{dt} = -B_{ij}\theta_{ij}^{(1)} \quad (22)$$

$$\frac{dB_{ij}}{dt} = A_{ij}\theta_{ij}^{(1)} \quad (23)$$

$$\frac{dF_{ij}}{dt} = -H_{ij}\theta_{ij}^{(1)} \quad (24)$$

$$\frac{dH_{ij}}{dt} = F_{ij}\theta_{ij}^{(1)} \quad (25)$$

Turunan kedua atau lebih tinggi dari harga $\theta_i^{(m)}$ dapat ditentukan sebagai berikut:

$$d_1 = - \sum_{k=1}^{n-1} \frac{P_k}{M_T} + \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n F_{kj} \quad (26)$$

$$d_2 = - \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n H_{kj} + \theta_{kj}^{(1)} \quad (27)$$

$$d_3 = - \sum_{k=1}^{n-1} + \sum_{j=k+1}^n [F_{kj}\theta_{kj}^{(2)} + H_{kj}\theta_{kj}^{(2)}] \quad (28)$$

3.3. Identifikasi Mesin-Mesin yang Mengalami Gangguan Berat

Jika terjadi gangguan pada sistem, biasanya mesin yang mengalami gangguan berat dan generator-generator inilah yang menentukan ketidakstabilan ayunan pertama maka stabilitas dapat ditentukan dengan meneliti pertidaksamaan (1) terbatas untuk harga puncak sudut rotor dari banyak sistem umumnya terjadi dalam jangka waktu yang sangat pendek setelah gangguan ditiadakan.

Untuk jangka waktu yang relative pendek sudut rotor didapatkan dengan hanya mengambil beberapa suku saja dari deret Taylor pada persamaan (12).

Prosedur untuk identifikasi sejumlah mesin-mesin yang mengalami gangguan berat adalah sebagai berikut :

1. Hitung besaran simpangan $J_i = |\theta_i(t) - \theta_i(0)|$

Untuk :

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$\theta_i(t)$ = sudut gangguan

$\theta_i(0)$ = sudut sebelum gangguan

Besaran sudut gangguan $\theta_i(t)$ dihitung dengan menggunakan ekspansi deret Taylor

2. Dapatkan besaran simpangan (J_k^*)

3. Tentukan mesin ke-j terhadap salah satu yang mengalami gangguan berat.

$$J_j / J_k^* > \sigma \quad ; \quad \sigma < 3$$

Nilai σ pada beberapa studi = 2,98

3.4. Penentuan Stabilitas

Keberadaan nilai puncak sudut-sudut rotor setelah terjadi gangguan dapat dihitung dengan mengamati akar-akar dari turunan kedua terhadap waktu dari sudut-sudut rotor tersebut.

Pernyataan tersebut di atas dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut [8]:

$$\theta(t_1) = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^{(2)} + a_3 t_1^{(3)} + \dots \quad (29)$$

Turunan waktu dari persamaan ini bila dibuat sama dengan 0 (nol) maka dapat dituliskan menjadi :

$$\frac{d\theta(t_1)}{dt} = 2a_1 + 2a_2 t_1 + 3a_3 t_1^2 = 0 \quad (30)$$

Jika nilai puncak sudut rotor (t_p) sebesar :

$$t_p = \frac{-2a_2 \pm \sqrt{(4a_2^2 - 12a_1 a_3)}}{6a_3} \quad (31)$$

Jika akar-akar tersebut mempunyai bilangan negatif atau kompleks untuk generator yang mengalami gangguan berat maka sistem masih dianggap tidak stabil.

Jika akar-akar tersebut mempunyai bilangan positif untuk generator yang mengalami gangguan berat maka sistem masih dianggap stabil.

3.5.Algoritma Penentuan Waktu Pemutusan Kritis

Dalam menentukan waktu pemutusan kritis pada suatu sistem, menggunakan metoda langsung dengan algoritma sebagai berikut :

1. Bentuk reduksi matrik selama gangguan.
2. Hitung turunan kedua dan ketiga dari θ_i .
3. Hitung harga pada $t = t_{cl}$ mulai dari awal, diteruskan langkah demi langkah, kemudian hitung pula harga $\omega_i = \theta_i^{(1)}$ pada $t = t_{cl}$ mulai dari awal diteruskan langkah demi langkah.
4. Tetapkan harga θ_i dan ω_i pada $t = t_{cl}$ sebagai harga mula.
5. Bentuk reduksi matrik setelah gangguan.
6. Hitung turunan kedua dan ketiga.
7. Hitung $\omega_i = \theta_i^{(1)}$ pada $t_i = t_{cl}$
8. Selidiki apakah memiliki akar real positif.
9. Jika “Ya” berarti stabil, naikan t_{cl} ke-3 dengan $t = t_{cl\ baru} = t_{cl\ lama} + \Delta t$, jika tidak ada berarti sistem tidak stabil kemudian cetak waktu pemutusan kritis.

3.6.Tampilan Monitor Untuk 2(dua) Saluran di lepas :

Satu pada saluran tunggal dan dua pada saluran ganda

Apakah ada admitansi Shunt [y/t] / y
 Jumlah Saluran yang di lepas : 2
 Saluran yang di lepas [i,j] ? 1,2
 Saluran yang di lepas [I,j] ? 5,6
 Merupakan Rel Ganda

Zona di lepas

1. Satu Saluran
2. Dua Saluran

Pilihan : 2

Lokasi Bus Terganggu : 2
 Lokasi Bus Terganggu : 11
 Lokasi Bus Terganggu : 13

Sistem Tidak Stabil

Waktu P_Kritis Mesin 1 : .00 second
 Waktu P_Kritis Mesin 1 : 1.80 second
 Waktu P_Kritis Mesin 1 : 2.00 second
 Waktu P_Kritis Mesin 5 : 1.00 second
 Waktu P_Kritis Mesin 5 : 1.20 second
 Waktu P_Kritis Mesin 8 : 1.60 second
 Waktu P_Kritis Mesin 8 : 1.80 second

Waktu P_Kritis Mesin 12 : 1.60 second

Waktu P_Kritis Mesin 12 : 1.80 second

Data Input						
.false.	1	2	0.0013	0.00456		
.false.	2	3	0.0144	0.05178		
.false.	3	4	0.0179	0.06386		
.true.	4	5	0.0035	0.01255		
.true.	5	6	0.0177	0.06351		
.true.	6	8	0.0297	0.10685		
.false.	7	8	0.0220	0.07616		
.false.	7	9	0.0168	0.05803		
.true.	6	12	0.0045	0.02213		
.false.	5	11	0.0037	0.01319		
.true.	9	10	0.0139	0.04970		
.false.	10	12	0.0274	0.08390		
.true.	1	10	0.0148	0.05330		
.false.	1	4	0.0335	0.12051		
.false.	10	13	0.0157	0.04820		
1	85.4140	49.15230	0.0000	0.0000	151.5000	0.0000
3	0.0000	0.00000	4.4000	2.1100	151.3667	-0.0022
3	0.0000	0.00000	14.8000	7.1000	150.6537	-0.0150
3	0.0000	0.00000	64.8000	31.1000	150.6537	-0.0238
2	40.0000	15.00000	51.4000	24.6700	150.8582	-0.0220
3	0.0000	0.00000	47.3000	22.7000	151.5000	-0.0121
3	0.0000	0.00000	21.8000	10.5500	151.0619	-0.0195
2	48.0000	20.00000	11.8000	4.8500	150.1765	-0.0114
3	0.0000	0.00000	39.5000	18.9600	151.5000	-0.0223
3	0.0000	0.00000	17.2000	8.2600	149.3015	-0.0143
3	0.0000	0.00000	4.6000	2.2100	151.4400	-0.0225
2	120.0000	60.00000	0.0000	0.0000	151.0000	-0.0012
3	0.0000	0.00000	14.3000	6.8600	149.0448	-0.0201

*--- data MP ---

*

4

5000 5

1,2

1,4

2,3

1,10

3,4

4000 3
5,11
5,4
5,6
3000 3
8,6
8,7
7,9
3000 4
12,6
12,10
10,13
9,10

Tabel 4. Hasil Perhitungan Sudut Rotor dan Kecepatan Rotor Pembangkit Ombilin (Bus 1) pada Gangguan di Simpang Haru (Bus 11)

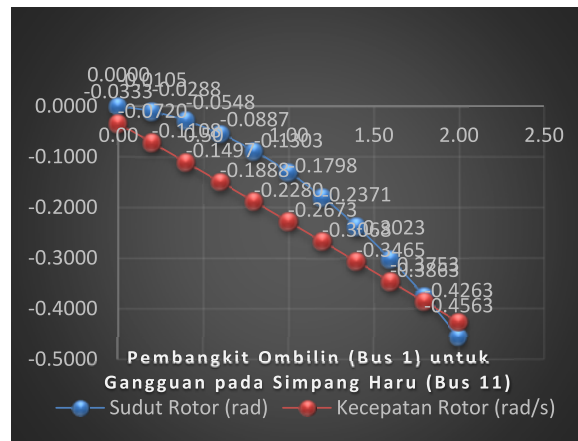
Mesin (Bus)	t (second)	Sud.Rotor (rad)	Kec. Rotor (rad/s)
1	0.00	0.0000	-0.0333
1	0.20	-0.0105	-0.0720
1	0.40	-0.0288	-0.1108
1	0.60	-0.0548	-0.1497
1	0.80	-0.0887	-0.1888
1	1.00	-0.1303	-0.2280
1	1.20	-0.1798	-0.2673
1	1.40	-0.2371	-0.3068
1	1.60	-0.3023	-0.3465
1	1.80	-0.3753	-0.3863
1	2.00	-0.4563	-0.4263

Tabel 5. Hasil Perhitungan Sudut Rotor dan Kecepatan Rotor Pembangkit Pauh Limo (Bus 5) pada Gangguan di Simpang Haru (Bus 11)

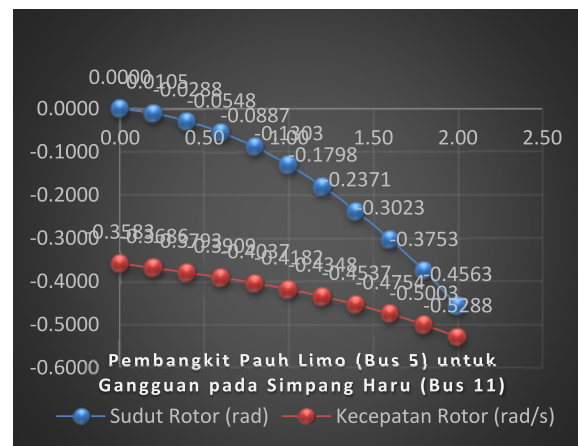
Mesin (Bus)	t (second)	Sud.Rotor (rad)	Kec. Rotor (rad/s)
5	0.00	0.0000	-0.3583
5	0.20	-0.0105	-0.3686
5	0.40	-0.0288	-0.3793
5	0.60	-0.0548	-0.3909
5	0.80	-0.0887	-0.4037
5	1.00	-0.1303	-0.4182
5	1.20	-0.1798	-0.4348
5	1.40	-0.2371	-0.4537
5	1.60	-0.3023	-0.4754
5	1.80	-0.3753	-0.5003
5	2.00	-0.4563	-0.5288

Tabel 6. Hasil Perhitungan Sudut Rotor dan Kecepatan Rotor Pembangkit Maninjau (Bus 1) pada Gangguan di Simpang Haru (Bus 11)

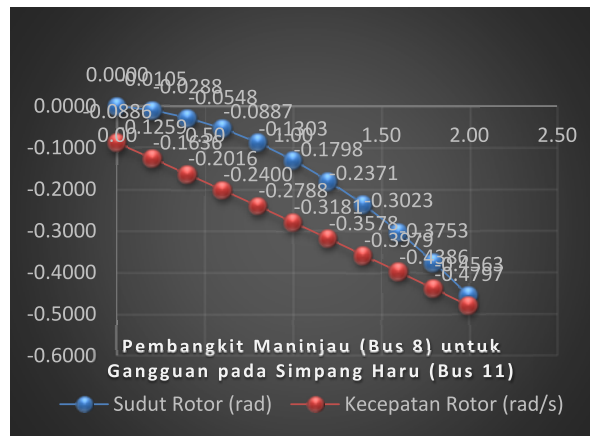
Mesin (Bus)	t (second)	Sud.Rotor (rad)	Kec. Rotor (rad/s)
8	0.00	0.0000	-0.0886
8	0.20	-0.0105	-0.1259
8	0.40	-0.0288	-0.1636
8	0.60	-0.0548	-0.2016
8	0.80	-0.0887	-0.2400
8	1.00	-0.1303	-0.2788
8	1.20	-0.1798	-0.3181
8	1.40	-0.2371	-0.3578
8	1.60	-0.3023	-0.3979
8	1.80	-0.3753	-0.4386
8	2.00	-0.4563	-0.4797



Gambar 1. Pembangkit Ombilin (Bus 1) untuk Gangguan pada Simpang Haru (Bus 11)



Gambar 2. Pembangkit Pauh Limo (Bus 5) untuk Gangguan pada Simpang Haru (Bus 11)



Gambar 3. Pembangkit Maninjau (Bus 8) untuk Gangguan pada Simpang Haru (Bus 11)

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dan analisa terhadap berbagai pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai sudut rotor diselidiki sampai turunan ke empat terhadap waktu dari generator dengan menggunakan Ekspansi Deret Taylor, hal ini tentunya akan didapatkan nilai waktu pemutusan kritis yang akurat.
2. Metoda yang diterapkan pada penelitian ini dengan melihat saluran yang dilepas dan lokasi bus yang terganggu akan didapatkan lokasi pembangkit (generator yang terganggu) yang paling terdekat dengan lokasi bus yang terganggu.
3. Untuk program yang diterapkan pada sistem jaringan transmisi dilakukan pemutusan 2 (dua) saluran yaitu pada Bus 1-2 dan Bus 5-6, maka didapatkan Bus yang terganggu pada Bus 2, Bus 11 dan Bus 13. Hal ini akan mengakibatkan terganggunya pembangkit yang terdekat yaitu pada Bus 1 (Ombilin), Bus 5 (Pauh Limo), dan Bus 12 (Singkarak). Adapun untuk pembangkit Maninjau yang terletak pada Bus 8 masih dianggap stabil namun untuk keseluruhan sistem Sumbar 150 kV dianggap tidak stabil.

Daftar Pustaka

- [1] Anizar Indriani, “ Metode Newton_Raphson Yang Dimodifikasi Untuk Studi Aliran Daya “, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bung Hatta, Padang, 1997.
- [2] C-T Liu and T-S Yeh, “ Paralel Simulasi of Industrial Power System Transients By an inherent Paralel Algorithm “, Elsevier Science Ltd, Printed in Great Britain, Paper : No. 7 pp. 437—443, 1996

- [3] D Handali dan RJ Pamuntjak, “ Kalkulus Perubah Banyak ‘ , Penerbit ITB Bandung, Bandung, 1979.
- [4] EPRI EL-456 (Research Project 763), “ Development of Dynamic Equivalent for Transient Stability Studies” , Electric Power Research Institute, California, 1977.
- [5] E Bompard, E Carpaneto, G Chicco and R Napoli, “A dynamic Interpretation of The Load-Flow Jacobian Singularity for Voltage Stability Analysis”, Elsevier Science Ltd, Printed in Great Britain, Paper : No. 7 pp. 437-443, 1996.
- [6] Francisco P Demello and Charles Concordia, “Concept of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control”, IEEE Transactions On Power Apparatus and Systems, Paper :P Vol Pas 88, No.4, April, 1996.
- [7] Hutahaen, “Kalkulus Differensial dan Integral “, Gramedia, PT, Jakarta, 1981.
- [8] Haque. MH and Rahim A.H.M.A, “Determination of First Swing Stability Limit of Multimachine Power System Through Taylor Series Expansion”, IEE-Prceeding, Paper : Vol.136. pt.c. No.6, November 1989.
- [9] Haque. MH and Rahim A.H.M.A, “An Efficient Method of Identifying Coherent Generators Using Taylor Series Expansion”, IEE-Transaction on Power Systems, Paper : Vol.3. No.6, August 1988.
- [10] Irmayati, “Studi Stabilitas Sistem Daya pada
- [11] Gangguan 3 fasa dengan Metode Rungge-Kutta”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Bung Hatta, Padang, 1997.
- [12] Jogiyanto, “Teori dan Aplikasi Komputer bahasa Fortran”, Penerbit Andi Offset, Jakarta, 1989.
- [13] KR Padiyar and SS Rao, “Dynamic Analysis of Small Signal Voltage Instability Decoupled from Angle Instability”, Elsevier Sceince Ltd, Printed in Great Britain, Paper : No.7 pp.445-4452, 1996.
- [14] Mas Eka Sandra Utama dan RJ. Widodo,”Analisis Kestabilan Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Metoda Lyapunov”, Makalah ITB Bandung, Bandung, 1993.
- [15] Pai MA, “Computer Techniques in Power System Analysis”, tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1989.
- [16] PLN, PT (persero) KITLUR SUMBAGSEL, Unit Pengatur Beban Sistem Sumbar-Riau, “Evaluasi Operasi Sistem Tenaga Listrik Sumbar-Riau, April, 1999.
- [17] S Liu, XP Wang and QZ Yu, “Hybrid Transient Stability Analysis Using Structure Preserving Model”, Electric Power and Energy Systems, Elsevier Science Ltd, Printed in Great Britain, Paper : Vol.18. No.6, pp. 347-352, 1996.
- [18] WD. Stevenson, Jr, “Analisi Sistem Tenaga Listrik”, Erlangga, 1993.
- [19] Wallach Y,”Calculation and Program For Power Network”,Printice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 076321, 1986.