

Analisis Aliran Daya dan Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Sistem Multi Mesin dengan ETAP

Arief Budi Laksono , Zainal Abidin

*) Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Lamongan
email : ariefbudila@gmail.com , zainalabidin@unisla.ac.id

Abstrak

Studi stabilitas sistem tenaga listrik sebagai masalah yang penting dan kompleks dalam operasi sistem tenaga yang aman dari sistem tenaga ketika terjadi gangguan kecil atau besar dalam sistem tenaga yang terkoneksi. Diskusi ini mempelajari aliran beban dan analisis stabilitas sementara sistem tenaga multi-mesin dengan software ETAP.

Sistem diagram tunggal sistem multi-mesin sistem 9-bus dikonfigurasi dalam ETAP. Untuk setiap aliran daya sistem daya multi-mesin dan analisis aliran daya telah disediakan kelengkapan tool dalam ETAP.

Hasil data aliran beban disajikan untuk setiap kasus. Untuk analisis stabilitas sementara, sistem disimulasikan dengan gangguan tiga fasa ke bumi dan gangguan satu fasa dalam ETAP. Kombinasi AVR, Governor, dan PSS menjaga sinkronisasi selama semua jenis kesalahan. Variasi sudut rotor, tegangan bus, dan kecepatan mesin dipelajari dalam setiap studi kasus. Hasil simulasi ditunjukkan melalui analisis grafis. Dalam studi simulasi ETAP menjelaskan bahwa penerapan PSS dapat meningkatkan secara substansial stabilitas transien sistem tenaga.

Keyword : ETAP, stability, power flow, multimesin

Abstract

Study of the stability of the power system as an important and complex problem in the operation of a power system that is safe from the power system when there are small or large disruptions in the connected power system. This discussion studies load flow and stability analysis while a multi-machine power system with ETAP software.

Single diagram system multi-engine system 9-bus system configured in ETAP. For each multi-machine power system power flow and power flow analysis have been provided a complete tool in ETAP.

The results of the load flow data are presented for each case. For the transient stability analysis, the system is simulated with three phase disturbance to earth and single phase interference in ETAP. The combination of AVR, Governor, and PSS maintains synchronization during all types of errors. Variations in rotor angle, bus voltage, and engine speed were studied in each case study. Simulation results are shown through graphical analysis. In the ETAP simulation study explains that the application of PSS can substantially improve the transient stability of the power system.

Keyword: ETAP, stability, power flow, multi-machine

I. PENDAHULUAN

ETAP adalah software analisis sistem tenaga paling komprehensif untuk desain, simulasi, operasi, dan otomasi pembangkit, distribusi, dan sistem tenaga industri. ETAP dikembangkan di bawah program kualitas yang mapan dan digunakan di seluruh dunia sebagai perangkat lunak berpengaruh tinggi. ETAP adalah perangkat lunak Simulink di mana kita dapat menggambar, mengkonfigurasi dan menganalisis suatu sistem.

Definisi stabilitas sistem tenaga dan berbagai metode analisis dan kontrolnya adalah dibahas dalam [5]. Dalam buku ini, pemodelan PSS, aplikasi dan dampaknya pada aplikasi stabilitas sistem

tenaga telah diilustrasikan dengan studi kasus dan contoh yang sesuai.

Dalam [6] pemodelan sistem tenaga tunggal dan juga multi-mesin telah ditunjukkan untuk stabilitas sinyal kecil dan analisis stabilitas sementara. Teori detail dan representasi variabel status dari Power System Stabilizer (PSS) ditunjukkan dalam referensi ini. Artikel [7] mempelajari stabilitas transien sistem tenaga listrik berdasarkan stabilitas sudut rotor sementara kesalahan tiga fase, untuk menentukan jumlah garis yang akan dibangun di bawah tegangan 1.200 kV dan untuk mengangkut daya 9000 MW. Simulasi

dilakukan menggunakan Perangkat lunak MATLAB / Simulink.

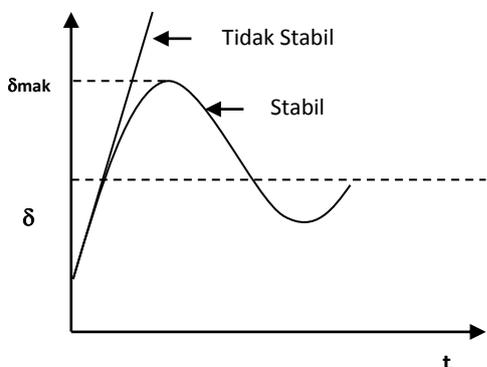
Analisis terperinci yang dilakukan dalam [8] untuk menentukan parameter stabilisator sistem tenaga untuk stasiun pembangkit besar. Studi-studi stabilitas sinyal kecil dan transien dilaporkan yang menunjukkan keefektifan stabilisator dalam meningkatkan stabilitas antar-area serta model osilasi lokal pembangkit. (1) Ref. [9] mencakup analisis stabilitas transien dari 400 gardu induk. Kesalahan tiga fase terletak di bus yang ditentukan untuk menganalisis efek lokasi gangguan pada waktu pembersihan kritis pada stabilitas sistem. Untuk menstabilkan analisis aliran beban sistem dilakukan. Seluruh simulasi telah telah dikerjakan dalam ETAP.

Sistem uji bus IEEE-9 disimulasikan dan stabilitas dianalisis pada perangkat lunak ETAP di [1] Di sini, kesalahan dibuat pada bus yang berbeda dan stabilitas sementara dianalisis untuk kondisi beban dan pembangkitan yang berbeda. *Critical Clearing Time* (CCT) dihitung dengan menggunakan domain waktu klasik diperpanjang dengan metode kriteria luas yang sama. Variasi frekuensi dan tegangan sistem diamati untuk berbagai lokasi gangguan dan CCT.

Stabilitas Transient

Stabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk merespons gangguan dari operasi normalnya dan kembali ke kondisi operasi normal. Sedangkan batas stabilitas adalah transfer daya maksimum melalui bagian dari sistem yang mana batas stabilitas mengacu beroperasi dengan stabilitas.

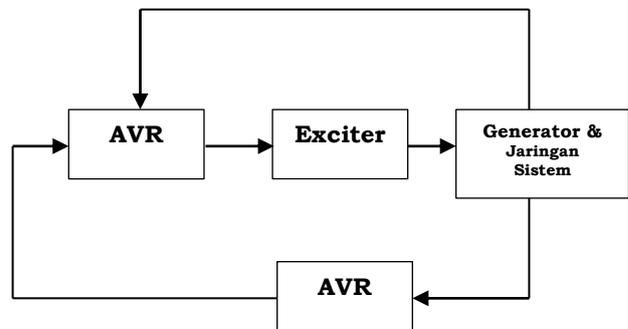
Stabilitas transien adalah gangguan tiba-tiba besar terjadi karena gangguan, perubahan beban mendadak dan timbulnya stabilitas sementara. Daya maksimum dapat ditransfer melalui sistem tanpa kehilangan stabilitas di bawah gangguan tiba-tiba disebut stabilitas sementara [3]



Sistem stabil ; $\frac{d\delta}{dt} = 0$ pada saat tertentu
 Sistem tidak stabil $\frac{d\delta}{dt} > 0$ pada waktu yang lama
Gambar 1. Karakteristik Kestabilan Sistem

Power System Stabilizer (PSS) berfungsi mengontrol generator dalam loop kontrol umpan balik untuk meningkatkan redaman osilasi rotor disebabkan karena gangguan sinyal kecil karena variasi beban dan pembangkitan. PSS adalah kompensator *lead-lag*. PSS dapat menentukan kecepatan, frekuensi mesin atau daya sebagai input dan menghasilkan torsi redaman dalam fase dengan kecepatan rotor untuk memitigasi osilasi rotor. Dalam sistem tenaga listrik, PSS memiliki kemampuan untuk mempertahankan sinkronisasi semua generator untuk kondisi awal yang diberikan setelah mengalami gangguan fisik.

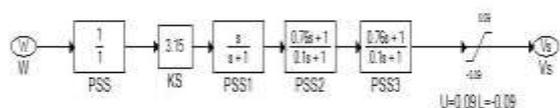
Adapun Fungsi dari PSS (*Power System Stabilizer*) adalah : Memperbaiki sistem redaman, memperbaiki stabilitas dinamik sistem , mengurangi (mereduksi) rugi daya, memperbaiki redaman yang tidak optimal di seluruh rentang operasi



Gambar 2. Diagram sistem daya Pembangkit dengan PSS

Gangguan ini dapat disebabkan oleh perubahan kecil pada tegangan referensi regulator tegangan otomatis yang menghasilkan osilasi rotor yang semakin meningkat. PSS memodulasi eksitasi generator, sehingga dapat mengembangkan komponen torsi listrik dalam fase dengan pengaturan kecepatan rotor untuk meredam osilasi rotor. PSS dengan demikian berkontribusi pada peningkatan stabilitas sinyal kecil dari sistem tenaga.

Dalam proyek ini model yang didefinisikan digunakan dari IEEE PSS dipertimbangkan untuk daya analisis stabilitas sistem. Diagram blok PSS ditunjukkan pada Gambar.2



Gambar 3. Diagram blok IEEE PSS

Menentukan Stabilitas Transient Dengan Metode Kriteria Luas Sama

Studi stabilitas transient meliputi penentuan tercapai atau tidaknya keserempakan setelah mesin mengalami gangguan. Gangguan tersebut dapat berupa pembebanan tiba-tiba, kehilangan pembangkit, kehilangan beban yang besar, ataupun gangguan pada sistem. Suatu metode yang dapat digunakan untuk memprediksi stabilitas yang cepat adalah metode kriteria luas sama. Metode ini hanya dapat dipakai untuk suatu sistem satu mesin yang terhubung ke infinite bus atau sistem dua mesin. Persamaan (1) dapat digunakan untuk menurunkan metode kriteria luas sama sebagai berikut:

$$\frac{H}{\pi \cdot f_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} - P_m - P_e - P_a \dots\dots\dots(1)$$

Dengan Pa adalah daya percepatan. Dari persamaan di atas di dapatkan:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\pi f_0}{H} (P_m - P_e) \dots\dots\dots(2)$$

Jika kedua sisi kiri dan kanan dari persamaan di atas dikalikan dengan 2dδ/dt, didapatkan:

$$2 \frac{d\delta}{dt} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{2\pi f_0}{H} (P_m - P_e) \frac{d\delta}{dt} \quad (3)$$

Dapat ditulis dalam bentuk lain :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{d\delta}{dt} \right)^2 = \frac{2\pi f_0}{H} (P_m - P_e) \frac{d\delta}{dt}$$

Integrasi kedua sisi kanan dan kiri menghasilkan :

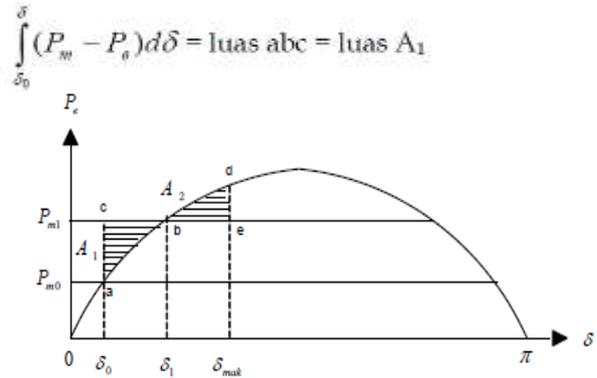
$$\left(\frac{d\delta}{dt} \right) = \sqrt{\frac{2\pi f_0}{H} \int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta} \dots\dots\dots(4)$$

Bila pada persamaan (4) kecepatannya menjadi nol sesaat setelah gangguan, maka di dapatkan kriteria luas sama sebagai berikut :

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (P_m - P_e) d\delta = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Mesin bekerja pada titik setimbang δ0. Pada titik ini daya input mekanik Pm0 = Pe0 seperti ditunjukkan pada gambar 4. Penambahan daya input tiba-tiba yang dinyatakan oleh garis horizontal Pm1. Dengan Pm1 > Pe0, daya percepatan pada rotor adalah positif dan sudut daya δ bertambah. Kelebihan

energi yang tersimpan pada rotor selama percepatan awal adalah :



Gambar 4. Kriteria sama luas pada perubahan beban mendadak [10]

METODOLOGI

Metode simulasi dalam kajian ini adalah menggunakan software ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*). Langkah-langkah mendesain sistem :

- a. Mengkonfigurasi jaringan single line 9bus IEEE pada lembar kerja ETAP
- b. Langkah analisis beban (*Load Analysis Step*)
Setelah gambar desain konfigurasi di lembar kerja ETAP dibuat sesuai prosedur dan parameternya kemudian klik menu *analysis load flow* seperti menu gambar berikut:

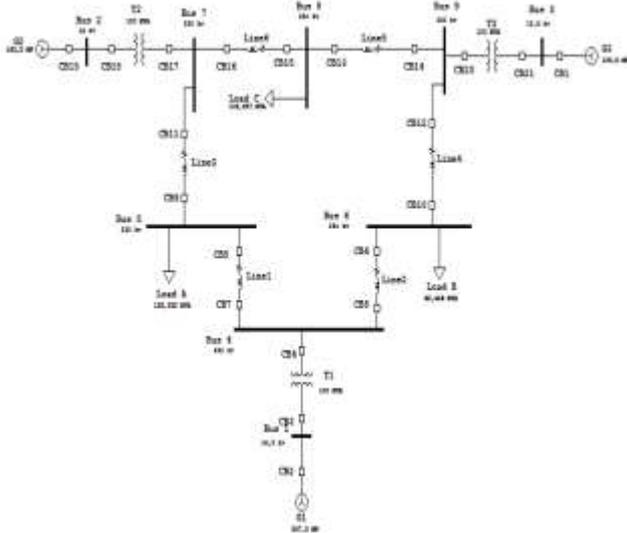


- b. Menganalisis Transient analysis step
Dari lembar kerja selanjutnya dipilih simbol transient analysis pada gambar berikut :



Adapun diagram *single line* bus 9 bus IEEE dapat dilihat pada gambar 4 berikut :

Tabel 1. Tabel Aliran Daya 9 Bus



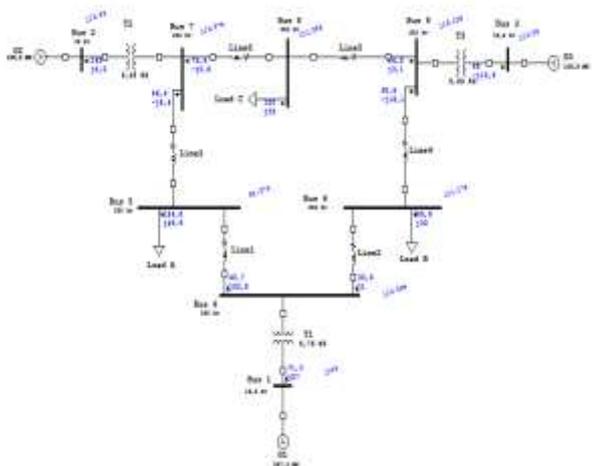
Gambar 4. Single line 9 bus IEEE

LOAD FLOW REPORT

Bus	V	Voltage			Generation			Load	Load Flow			XPM
		Mag	Angle	PU	P (MW)	Q (MVar)	W (MW)		P (MW)	Q (MVar)	W (MW)	
Bus 1	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 2	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 3	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 4	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 5	0.998	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 6	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 7	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 8	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	
Bus 9	1.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0	0	0	0	0	

HASIL DAN ANALISIS

Hasil running Aliran Daya 9 bus dengan program ETAP :

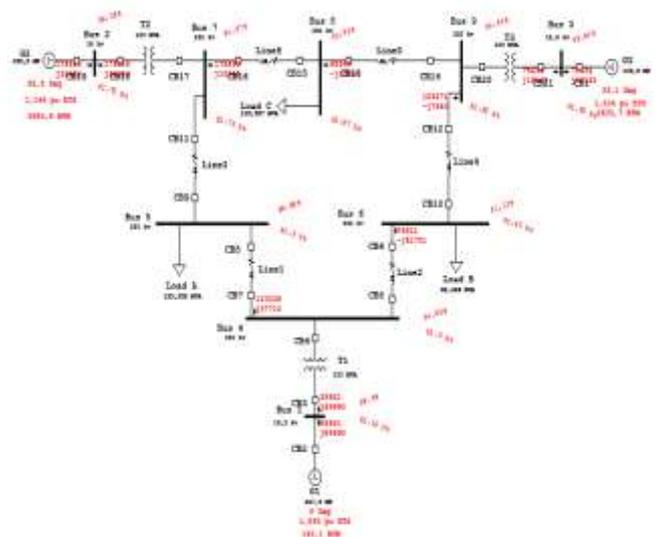


Gambar 5. Diagram Aliran Daya Single Line

Hasil running aliran daya sistem 9 bus dinyatakan pada tabel 1. Dalam laporan aliran daya, pada bus tegangan ada kenaikan pada bus 1 sebesar 4 %, pada bus 2, ada kenaikan 2.5%, pada bus 3, kenaikan 2,5%, pada bus 4, ada kenaikan 2,57%, pada bus 6 ada kenaikan sebesar 1,2 %, bus 7 2,5% , bus 8 ada kenaikan 1,5% dan bus 9 ada kenaikan 3,2%. Sementara pada bus 5 ada penurunan di bus tegangan sebesar 0,43%.

Karakteristik stabilitas transient pada sistem 9 bus

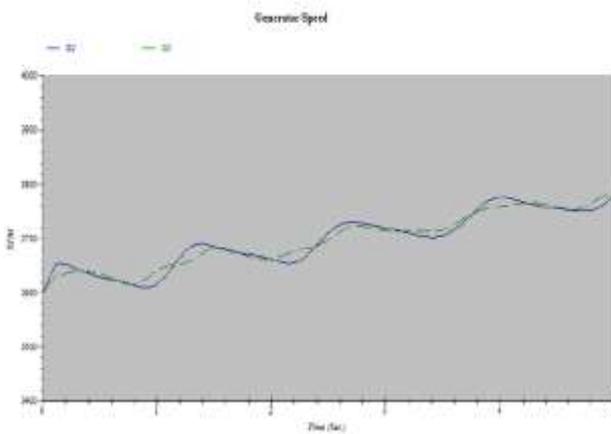
Pada tes transient stability sistem 9 bus, kecepatan dan sudut daya absolut generator 2 dan 3 disimulasikan dengan waktu 5 detik. Respon yang dihasilkan terjadi osilasi dan dalam kondisi tidak stabil (*unstable*) dan nilainya selalu naik.. Setelah ditambahkan PSS (*Power System Stabilizer*) , kecepatan generator pada waktu 5 detik mencapai kondisi stabil pada waktu 3.8 detik setelah kehilangan stabilitasnya.



Gambar 6. Diagram satu garis saat kondisi transien pada sistem 9bus

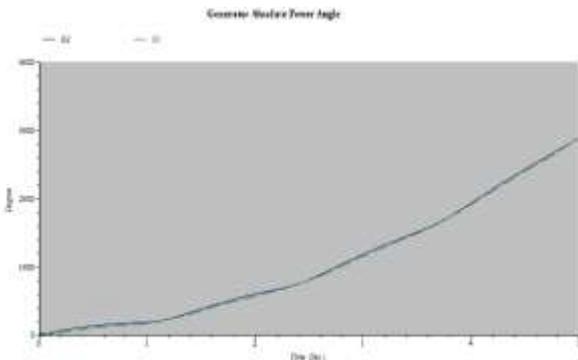
Hasil running program :

a. Generator tanpa PSS



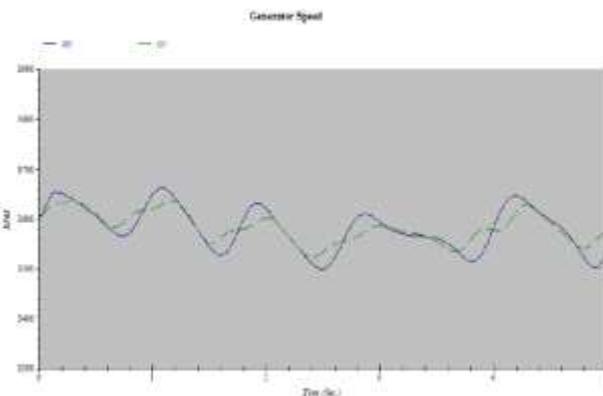
Gambar 7. Generator speed terhadap time

Pada gambar 8 terjadi osilasi yang cenderung naik pada kecepatan generator.

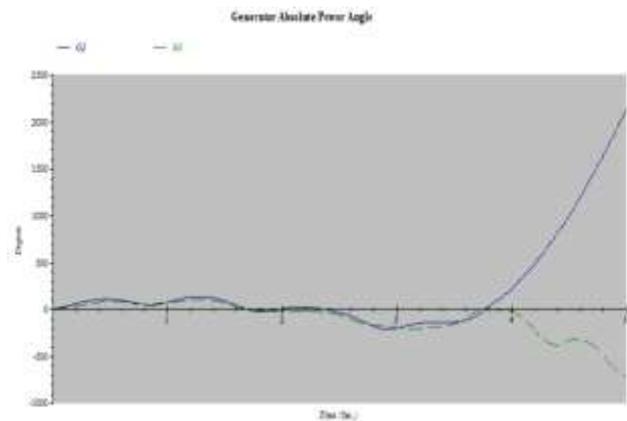


Gambar 8. Generator Absolute Power Angle terhadap waktu (sec)

b. Generator dengan PSS



Gambar 9. Generator Speed terhadap waktu



Gambar 10. Generator absolute angle thd time

PENUTUP

Dalam simulasi aliran daya dan analisis stabilitas transient dilakukan dalam software ETAP. Dalam sistem dipelajari karakteristik aliran & stabilitas transien sistem pada sistem tenaga 9-bus. Performa sistem telah diselidiki untuk skenario tipikal gangguan. PSS digabungkan dengan generator bus untuk meningkatkan kinerja stabilitas transien sistem. Simulasi telah dilakukan untuk parameter; kecepatan generator, sudut daya relatif generator, tegangan bus, sudut tegangan bus tanpa dan dengan PSS. Telah diamati bahwa tanpa respon PSS dari parameter sistem beresilasi dan beberapa kasus pada dasarnya tidak stabil dalam kondisi gangguan. Namun, dengan penerapan sifat osilasi PSS dari parameter berkurang dan mencapai posisi kondisi stabil. PSS tidak hanya mengurangi overshoot dan undershoot sebagai respons tetapi juga cepat membawa sistem kembali normal.

Referensi :

- [1] ETAP manual, ETAP AUTOMATION PVT. LTD. INDIA, Available in Dept. EE, RCCIIT, APJ Abdul Kalam Innovation Center, RCCIIT R&D Cell.
- [2] ETAP Power station user guide, User-Defined Dynamic Model, chapter 20.
- [3] C.L.Wadha, Electrical Power System, New Age International Pub. pp. 230-245, 2003.
- [4] J.B. Gupta, A Course in Electrical Power System, S.K. Kataria & Sons; 2013 edition PP. 875-910, 2013
- [5] P. W. Sauer and M. A. Pai, Power System Dynamics and Stability, Prentice Hall. Inc,1998.
- [6] P. Kundur, Power System Stability & Control, Mc Graw Hill, Inc, 1994.
- [7] F. Selwa and L. Djamel, "Transient Stability Analysis of Synchronous Generators in Electrical Network," International Journal of

Scientific & Engineering Research, vol. 5, no.8, August 2014.

- [8] P. Kundur , M. Klein, G. J Rogers and M. S Zywno, "Application of Power System Stabilizer for Enhancement of overall System Stability," IEEE Trans. On Power system vol.4, no.2 , pp. 614-626, May 1989.
- [9] J. S. Patel and M. N. Sinha, "Power System Transient Stability Analysis Using ETAP Software," National conference on recent Trends in Engineering and Technology, May2011
- [10] Cekdin Cekmas, 2006, "*Sistem Tenaga Listrik*", Penerbit Andi, Yogyakarta