



LAPORAN PENELITIAN

PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP TEGANGAN INTERNAL PEMBANGKIT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Oleh :

Ir. Saiful Manan MT

NIP : 131 681 917

**DIBIYAI OLEH DIK Rutin Universitas Diponegoro sesuai
Perjanjian Pelaksanaan Penelitian tanggal 4 Agustus 1997
Nomer : 3157 /PT09.H2/N/1997**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
1998**

LAPORAN PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian	: Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Tegangan Internal Pembangkit Sistem Tenaga Listrik.
b. Bidang Ilmu	: Teknik Elektro
c. Kategori Penelitian	: I
2. Kepala Proyek Penelitian	
a. Nama Lengkap	: Ir. Saiful Manan MT
b. Jenis kelamin	: Pria
c. Pangkat/Golongan/NIP	: Penata Muda Tk I, Gol IIIb/ 131 681 917
d. Jabatan Fungsional	: Assiten Ahli
e. Fakultas/Jurusan	: Teknik/PSD III Elektro
3. Personalia Peneliti	: 4 (empat)
4. Pembimbing Penelitian	: Drs. H Bambang Suroso Upoyo MSi
NIP	: 131 407 973
5. Lokasi Penelitian	: Laboratorium PSD III Elektro
5. Lama Penelitian	: 6 (bulan)
6. Jumlah Biaya Penelitian	: Rp. 2.100.000,00 (dua juta seratus ribu rupiah)
7. Dibiayai melalui	: DIK Rutin Undip 1997/1998

Menyetujui :

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Diponegoro

Prof. Ir. Eko Budinardjo

NIP : 130 354 860



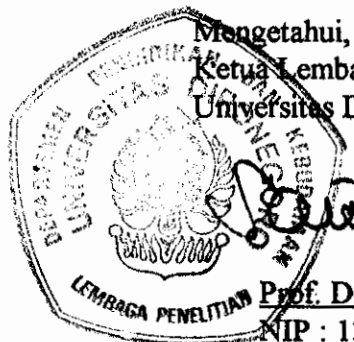
Semarang, Februari 1998

Kepala Proyek Penelitian

Ir. Saiful Manan MT

NIP: 131 681 917

Mengetahui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Diponegoro



Prof. Dr. dr. Satoto

NIP : 130 368 071

LAPORAN HASIL PENELITIAN

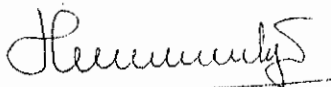
PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP TEGANGAN INTERNAL PEMBANGKIT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Oleh :

Ketua	:	Ir. Saiful Manan MT
Anggota	:	Drs. Moediyono
	:	Drs. Subali
	:	Ir. Sarjito Joko Sisworo MSi

Semarang, Februari 1998

Mengetahui Pembimbing Penelitian,



Drs. Bambang Suroso Upoyo
NIP. 131 407 973

ABSTRAK

Kondisi beban yang fluktuatif khususnya yang terjadi saat beban puncak pada konsumen, akan sangat berpengaruh terhadap kestabilan dan kualitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan baik pada pencatu tenaga listrik maupun pada konsumen sebagai pemakai energi listrik. Pengaruh ini akan secara langsung terasa pada sisi pencatu beban. Apalagi jika pencatu beban tersebut mencakup daerah yang cukup luas, serta terdiri dari beberapa jenis pembangkit tenaga listrik

Salah satu kualitas yang harus dipenuhi oleh penyedia energi listrik itu adalah tegangan yang stabil jika terjadi perubahan beban, khususnya pada saat beban puncak. Hal ini perlu diketahui karena kualitas tegangan pada konsumen tersebut sangat tergantung dari tegangan pencatu daya yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit pencatu daya tersebut.

ABSTRACT

The fluctuation of load conditions especially that is happened when the peak load condition, it's called power system dynamics. It will influence to the stability and quality of electric energy system throughly both, generators and customer as user of energy. This influence will seek directly on plant system as supplier of electric power system, more over if this power system includ the large area and plants system includ many types of generation.

One of qualities which must be sufficient by the power system is stable voltage if change or fluctuation load is occur, especially at the peak load condition That's to be known because the voltage quality on the consumer is depend on the internal voltage which is generated by genarators of plants system.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan rahmat dan ridlo Alloh Laporan Penelitian ini dapat penulis selesaikan. Sholawat dan salam penulis sampaikan pada junjungan nabi besar Muhammad saw.

Laporan penelitian ini membahas pengaruh perubahan beban pada sisi beban yang akhirnya akan mengakibatkan terjadinya deviasi sudut daya pada sistem tenaga listrik karena adanya gangguan kecil berupa pertambahan beban tersebut sebesar antara 10 % per-satuan selama sistem berdinamika.

Akhirnya dengan selesainya Laporan Penelitian ini penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan laporan ini, khususnya kepada :

- . Ketua LEMLIT UNDIP
- . Dekan FT UNDIP
- . Ketua PSD III FT UNDIP
- . Dosen Jurusan Teknik Elektro
- . Rekan-rekan yang telah membantu terselesaikannya laporan ini.

Penulis berharap laporan penelitian ini dapat berguna bagi pembaca dan yang bersangkutan dengan hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini. Amiin.

Semarang, Februari - 1998

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	xi
BAB I Pendahuluan	1
A. Latar Belakang	1
B. Penelaahan Studi Kepustakaan	4
C. Tujuan Penelitian	10
D. Manfaat Penelitian	10
E. Hipotesa	11
F. Methodologi	11
G. Struktur dan Sistematika Laporan	12
BAB II Tinjauan Pustaka	15
2.1. Komponen Utama Kontrol Sistem Pembangkit	15
2.2. Pemodelan dinamik sebuah mesin sinkron terhubung bus tak hingga	16
2.3. Pemodelan dinamik sistem tenaga listrik multimesin	23
2.4. Persamaan arus	23
2.5. Persamaan daya	25
2.6. Persamaan tegangan	26
2.7. Persamaan torsi	26

2.8. Persamaan medan	27
2.9. Persamaan pengatur tegangan	28
2.10. Pengaruh interaksi dinamik antar mesin	32
2.11. Pemodelan beban	38
Cara Pelaksanaan Penelitian	40
A. Pelaksanaan Program Kerja	40
B. Pembuatan Simulasi	41
C. Tahap Pelaksanaan Penelitian	42
D. Pembuatan Formulir Data	43
E. Metoda Penelitian	43
Hasil Pengamatan dan Pembahasannya	45
Penutup	75
A. Kesimpulan	75
B. Saran-saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
CURICULUM VITAE	77

DAFTAR GAMBAR

1.1. Transformasi sistem sumbu abc ke d-q	5
1.2. Blok diagram proses gerak mesin sinkron	6
1.3. Hubungan fasa antara torsi redaman, sinkronisasi dan elektrik	7
1.4. Kondisi daya elektrik dan daya mekanis mesin sinkron	8
1.5. Hubungan E_f dan V_t	9
1.6. Diagram fasor hubungan E_f dan V_t	9
2.1. Bagian utama sistem tenaga listrik	15
2.2. Sistem kontrol pada pembangkit	15
2.3. Satu mesin sinkron terhubung bus tak hingga	16
2.4. Blok diagram persamaan torsi dan sudut daya	17
2.5. Diagram blok persamaan terminal generator	17
2.6. Blok diagram sudut daya dan torsi elektrik	18
2.7. Blok diagram persamaan medan	18
2.8. Blok diagram regulator tegangan dan medan	18
2.9. Blok diagram dinamika sebuah mesin sinkron terhubung bus tak hingga	19
2.10. Blok diagram reaksi jangkar dengan adanya perubahan beban	20
2.11. Blok diagram perubahan tegangan terminal dengan adanya perubahan beban	21
2.12. Jaringan sistem multimesin dan ekivalennya	23
2.13. Koordinat d-q mesin i dan koordinat bersama D-Q	24
2.14. Diagram fasor tegangan	25
2.15. Blok diagram interaksi dinamik mesin i	27
2.16. Blok diagram interaksi dinamik mesin i elemen persamaan medan	28
2.17. Regulator tegangan	28
2.18. Blok diagram interaksi dinamik regulator tegangan dan sistem eksitasi mesin i	29
2.19. Blok diagram interaksi dinamik mesin i dengan adanya pengaruh mesin j	30
2.20. Loop mekanik mesin i	32

2.21. Root locus loop mekanik mesin i dengan ω konstan	32
2.22. Loop elektrik mesin i	33
2.23. Root locus mode reaktif	34
2.24. Interaksi antara mode-mode mekanik	35
2.25. Tempat kedudukan perubahan torsi elektrik interaksi dinamik mesin j	36
2.26. Interaksi mode reaktif mesin j terhadap mode mekanik mesin i	37
2.27. Skema diagram jaringan sistem tenaga listrik	39
4.1. Respon mesin 1 gangguan mesin 3 gangguan kecil	46
4.2. Respon mesin 1 gangguan sistem gangguan kecil	47
4.3. Respon mesin 3 gangguan mesin 1 gangguan kecil	48
4.4. Respon mesin 2 gangguan mesin 3 gangguan kecil	49
4.5. Respon sistem gangguan mesin 1 gangguan kecil	50
4.6. Respon sistem gangguan mesin 2 gangguan kecil	51
4.7. Respon mesin 1 gangguan mesin 2 gangguan kecil	52
4.8. Respon mesin 2 gangguan mesin 2 gangguan kecil	53
4.9. Respon mesin 2 gangguan sistem gangguan kecil	54
4.10. Respon mesin 3 gangguan mesin 2 gangguan kecil	55
4.11. Respon mesin 3 gangguan mesin 3 gangguan sedang	56
4.12. Respon mesin 3 gangguan mesin 2 gangguan sedang	57
4.13. Respon mesin 3 gangguan pada sistem gangguan sedang	58
4.14. Respon mesin 2 gangguan pada sistem gangguan sedang	59
4.15. Respon mesin 2 gangguan mesin 1 gangguan sedang	60
4.16. Respon mesin 2 gangguan mesin 2 gangguan sedang	61
4.17. Respon mesin 2 gangguan mesin 3 gangguan sedang	62
4.18. Respon sistem gangguan pada mesin 2 gangguan sedang	63
4.19. Respon mesin 1 gangguan pada sistem gangguan sedang	64
4.20. Respon sistem gangguan mesin 3 gangguan sedang	65

2.21. Respon sistem gangguan pada mesin 3 gangguan besar	66
2.22. Respon mesin 1 gangguan pada sistem gangguan besar	67
2.23. Respon sistem gangguan pada sistem gangguan besar	68
2.24. Respon sistem gangguan pada mesin 1 gangguan besar	69
2.25. Respon sistem gangguan pada mesin 3 gangguan besar	70

DAFTAR TABEL

4.1. Hasil pengamatan perubahan sudut daya dan tegangan terhadap penambahan beban golongan kecil	71
4.2. Hasil Pengamatan perubahan sudut daya dan tegangan terhadap penambahan beban golongan sedang	71
4.3. Hasil pengamatan perubahan sudut daya dan tegangan terhadap penambahan beban golongan besar	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. Pendahuluan.

Kemajuan ilmu dan teknologi saat ini maju sangat pesat sekali. Hal ini menumbuhkan satu fenomena baru yaitu kebutuhan akan energi listrik bisa dikatakan sudah merupakan kebutuhan primer bagi kehidupan peradaban modern saat ini. Semua peralatan-peralatan yang digunakan baik untuk rumah tangga maupun industri-industri besar, peralatan yang sederhana sampai yang canggih hampir dipastikan menggunakan energi listrik. Sebagai konsekuensinya diperlukan suatu perusahaan pencatu energi dalam kapasitas yang besar.

Untuk mengantisipasi perkembangan kebutuhan energi listrik tersebut, di pulau Jawa dan Bali sudah dilakukan suatu sistem interkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik yang besar dan meliputi daerah yang luas sangat mudah terganggu, baik disebabkan oleh gangguan besar sebagai akibat adanya hubung singkat, petir, dan sebagainya maupun gangguan kecil seperti perubahan beban yang terjadi setiap saat. Seperti diketahui bahwa kurva beban suatu sistem tenaga listrik adalah sangat fluktuatif. Kondisi beban yang fluktuatif ini akan mengakibatkan kondisi penyedia/pencatu energi listrik juga harus menyesuaikan dengan kondisi beban tersebut.

Sebagai penyedia energi listrik, perusahaan-perusahaan pencatu tenaga listrik baik BUMN maupun swasta harus menyediakan energi listrik dengan kualitas yang baik. Diantara kriteria kualitas tenaga listrik adalah frekuensi, tegangan jala-jala, $\cos Q$ dan sebagainya.

Kriteria-kriteria kualitas tenaga listrik di atas sangat berkaitan dengan kondisi dinamika suatu sistem tenaga listrik yaitu suatu kondisi sistem yang berkaitan dengan kelangsungan pembebanan sistem tersebut.

Tegangan suatu sistem tenaga listrik merupakan salah satu kriteria yang betul-betul harus diperhatikan. Karena pada setiap peralatan yang menggunakan dirancang oleh pabriknya mempunyai range (batas-batas) tegangan tertentu.

Besarnya tegangan yang diijinkan yang dikenakan pada suatu peralatan sudah ditentukan daerah kerjanya. Yaitu daerah kerja yang menjadikan peralatan bekerja dengan normal, namun karena terdapat kondisi-kondisi tertentu yang akan mengakibatkan adanya perubahan pada sisi pencatu daya, hal ini tentunya juga akan berpengaruh terhadap tegangan konsumen.

Kebanyakan peralatan-peralatan listrik sangat peka terhadap perubahan tegangan, apalagi jika perubahan-perubahan tersebut terjadi berulang-ulang, selain peralatan tersebut bekerja tidak normal juga akan mengakibatkan peralatan tersebut cepat rusak.

Telah dijelaskan didepan bahwa kondisi pembebanan suatu sistem tenaga listrik adalah sangat fluktuatif, hal ini sangat tergantung dari kebutuhan konsumen dan hal ini tidak dapat dikendalikan oleh penyedia energi listrik atau pencatu.

Perubahan-perubahan beban ini akan mengakibatkan adanya perubahan beberapa parameter pada sisi pembangkit, apalagi jika pembangkit tersebut sudah bekerja pada daerah batas maksimum kerjanya, perubahan yang tidak terlalu besar pada konsumen akan mengakibatkan osilasi terus menerus, maka pada penelitian ini akan diteliti pengaruh perubahan beban pada maksimum daerah kerja pembangkit terhadap tegangan pembangkit tersebut.

Secara garis besar sistem tenaga listrik dibagi dalam tiga bagian utama yaitu sisi pembangkit, penyaluran dan sisi konsumen. Jika pada beban terjadi perubahan permintaan (perubahan beban kecil) maka pada sistem pembangkit juga terjadi perubahan. Perubahan-perubahan ini harus diantisipasi oleh sistem kontrol untuk mengembalikan pada kondisi kestabilan yang baru. Sistem kontrol ini terdapat pada sisi pembangkit.

Sistem kontrol pada pembangkit terdiri dari sistem kontrol governor pada penggerak mula dan AVR (automatic voltage regulator) pada rangkaian eksitasi pembangkit. Governor adalah kontrol nilai torsi mekanik yang merupakan input generator dan AVR adalah kontrol pada eksitasi yang merupakan kontrol keluaran generator yang akhirnya sampai pada sisi beban. Jika perubahan kecil pada beban maka kontrol eksitasi ini akan berfungsi sebagai umpan balik untuk mencapai

keseimbangan baru. Governor mempunyai respon yang lambat di bandingkan kontrol eksitasi yang cukup cepat, sehingga dalam mempelajari dinamika sistem kontrol dengan governor diabaikan atau dengan kata lain di- anggap tidak ada perubahan torsi mekanik.

Dinamika sistem tenaga listrik adalah terjadinya perubahan-perubahan kecil pada sisi beban yang akan mengakibatkan perubahan kecepatan sudut pada rotor. Kecepatan sudut rotor generator ini akan berkisar pada kecepatan sinkron generator. Suatu pembangkit atau generator dikatakan stabil jika terjadi perubahan beban maka kecepatan rotor akan kembali pada kecepatan sinkron dan akan membangkitkan tegangan yang sebanding dengan kecepatan tersebut, karena dianggap tidak ada perubahan torsi mekanik maka perubahan beban pada sisi konsumen diantisipasi dengan kontrol tegangan eksitasi yaitu dengan menggunakan AVR (automatic voltage regulator). Seperti telah dijelaskan di depan bahwa AVR mempunyai daerah maksimum batas kerja linearnya, maka perlu diteliti pengaruh perubahan beban terhadap tegangan internal mesin pembangkit pada sistem tenaga listrik khususnya pada daerah kerja maksimumnya.