

DIPA



LAPORAN PENELITIAN

Studi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik di Sumbar-Riau

oleh :

**Drs. Hambali, M.Kes.
Oriza Candra, S.T.,M.T.**

**Penelitian ini dibiayai oleh :
Dana DIPA Universitas Negeri Padang Tahun Anggaran 2007
Surat Perjanjian Kontrak Nomor
802/H35/KU/DIPA/2007 Tanggal 26 Maret 2007**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2007**

**LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN**

1. a. Judul Penelitian : Studi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik di Sumbar-Riau
- b. Bidang Ilmu Sistem Tenaga Listrik
2. Personalia
- a. Ketua Peneliti
- Nama Lengkap Drs. Hambali, M.Kes.
- Pangkat/Gol/NIP Penata /III.c/131669089
- Fakultas/Jurusan Teknik / Teknik Elektro
- b. Anggota Peneliti
- Nama Lengkap Oriza Candra, M.T.
- Pangkat/Gol/NIP Penata Muda /III.a/132232490
- Fakultas/Jurusan Teknik / Teknik Elektro
3. Laporan Penelitian Telah direvisi sesuai saran pereviu

Padang, 30 November 2007

Mengetahui
Dekan FT-UNP

Ketua Peneliti,

Drs. Ganefri, M..Pd.
NIP. 131847374

Drs. Hambali, M.Kes.
NIP. 131669089

Mengetahui :
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,

Prof. Dr. H. Anas Yasin, M.A
NIP. 130365634

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAKS	viii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Permasalahan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Komponen Dasar Sistem Tenaga Listrik	4
1. Turbin	4
2. Governor	4
B. Persamaan Ayunan	5
C. Persamaan Generator Model dua sumbu	7
D. Persamaan Sistem Eksitasi	8
E. Pengaruh Sistem Eksitasi	10
F. Pengaruh AVR pada Sinkronisasi dan Damping Torsi	13

BAB III	TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	15
BAB IV	METODE PENELITIAN	
	A. Persiapan Data	16
	B. Langkah-langkah Analisis Stabilitas Sistem Tenaga	
	Listrik	16
	C. Diagram Alir Analisis Stabilitas Sistem Tenaga	
	Listrik	17
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	A. Sistem Tenaga Listrik yang Ditinjau	18
	B. Data Pembangkit dan Beban	18
	C. Data-data Beban Sistem Tenaga Listrik	
	Sumbar-Riau	19
	D. Data Impedansi Saluran Sistem Pembangkit	
	Sumbar-Riau	19
	E. Hasil dan Pembahasan Penelitian	20
	1. Studi aliran daya	20
	2. Tanggapan masing-masing pembangkit tenaga listrik	
	Saat pelepasan beban	20
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	
	A. Kesimpulan	36
	B. Saran - saran	36
	DAFTAR PUSTAKA	37
	LAMPIRAN	38

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Komponen dasar pembangkit tenaga listrik	4
Gambar 2.2. Diagram fasor satu fasa generator rotor silinder	5
Gambar 2.3. Kurva sudut daya	6
Gambar 2.4. diagram blok model dua sumbu	7
Gambar 2.5. diagram blok linier dari model dua sumbu	8
Gambar 2.6. diagram blok sistem eksitasi	8
Gambar 2.7. Diagram blok linier sistem eksitasi generator	10
Gambar 2.8. sistem eksitasi dengan AVR	11
Gambar 2.9. blok diagram dengan eksitasi dan AVR	12
Gambar 2.10. Blok diagram dengan AVR dan PSS	14
Gambar 4.1 Diagram alir stabilitas sistem tenaga listrik Sumatera Barat-Riau	17
Gambar 5.1. Tanggapan sudut rotor pembangkit Singkarak sebelum dan sesudah menggunakan PSS	21
Gambar 5.2.a Tanggapan tegangan pembangkit Singkarak sebelum menggunakan PSS	27
Gambar 5.2.b. Tanggapan tegangan pembangkit Singkarak sesudah menggunakan PSS	27
Gambar 5.3.a. Tanggapan daya elektrik pembangkit Singkarak sebelum menggunakan PSS	23
Gambar 5.3.b. Tanggapan daya elektrik pembangkit Singkarak sesudah menggunakan PSS	23
Gambar 5.4.a. Tanggapan sudut rotor pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan PSS	24
Gambar 5.4.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Koto Panjang setelah menggunakan PSS	25

Gambar 5.5.a. Tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan PSS	26
Gambar 5.5.b Tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang setelah menggunakan PSS	26
Gambar 5.6.a. Tanggapan daya elektrik pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan PSS	27
Gambar 5.6.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Koto Panjang	27
Gambar 5.7.a Tanggapan sudut rotor pembangkit Maninjau sebelum menggunakan PSS	28
Gambar 5.7.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Maninjau setelah menggunakan PSS	29
Gambar 5.8.a. Tanggapan tegangan pembangkit Maninjau sebelum menggunakan PSS	30
Gambar 5.8.b Tanggapan tegangan pembangkit Maninjau sesudah menggunakan PSS	30
Gambar 5.9.a Tanggapan daya elektrik pembangkit Maninjau sebelum menggunakan PSS	31
Gambar 5.9.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Maninjau sesudah menggunakan PSS	31
Gambar 5.10.a Tanggapan sudut rotor pembangkit Ombilin sebelum menggunakan PSS	32
Gambar 5.10.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Ombilin setelah menggunakan PSS	32
Gambar 5.11.a. Tanggapan tegangan pembangkit Ombilin sebelum menggunakan PSS	33
Gambar 5.11.b Tanggapan tegangan pembangkit Ombilin sesudah menggunakan PSS	34
Gambar 5.12.a Tanggapan daya elektrik pembangkit Ombili sebelum menggunakan PSS	34
Gambar 5.12.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Maninjau sesudah menggunakan PSS	

A Study on Stability of Electrical Power System in West Sumatra – Riau

Hambali, Candra Oriza
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Padang

ABSTRACT

The research aimed to find out the work of each electric power station on the electrical power system in West Sumatra whether there were any disturbances such as load discharge on Indarung bus.

By surveying respond curve through a simulation using a program computer, it was found out a change in rotor angle, tension oscillation and electric power decrease for each of electrical power station system at the time of a load discharge on the Indarung bus.

An effectiveness of application of Power System Stabilizer (PSS) as compensation to fulfill the characteristic of electric power system toward load discharge by observing the change in rotor angle, electric tension and power. Observation results showed that installation of Power System Stabilizer (PSS) provided attenuation toward oscillation time and attenuation toward overshoot. The magnitude of the attenuation percentage of oscillation was 13% - 62% and attenuation of overshoot was 0 – 0,1501%.

Key : *Stability, Power System Stabilizer (PSS)*

Studi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik di Sumbar - Riau

Hambali, Candra Oriza
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Padang

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari masing-masing pembangkit pada sistem tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau bila terjadinya gangguan berupa perlepasan beban pada bus Indarung

Dengan meninjau kurva respon melalui simulasi dengan program komputer dapat diketahui perubahan sudut rotor, osilasi tegangan dan penurunan daya elektrik untuk masing-masing sistem pembangkit saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung

Efektifitas penerapan *Power System Stabilizer (PSS)* sebagai kompensasi untuk memperbaiki watak stabilitas sistem tenaga terhadap pelepasan beban dengan mengamati perubahan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* memberikan redaman terhadap waktu osilasi dan redaman terhadap *overshoot*. Besarnya persentase redaman waktu osilasi 13% - 62% detik dan redaman *overshoot* 0 – 0,1501%.

Kata kunci : Stabilitas, *Power System Stabilizer (PSS)*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Salah satu masalah yang muncul dalam sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan adalah masalah dinamika dan stabilitas sistem. Stabilitas sistem tenaga yaitu keadaan sistem merespon gangguan saat operasi normal dengan mengembalikan ke suatu kondisi operasi normal kembali. Gangguan pada sistem dapat menimbulkan osilasi terhadap variabel-variabel sistem, seperti tegangan, frekuensi, dan daya. Sementara kebutuhan menghendaki sistem yang andal yaitu dimana variabel tersebut di atas bernilai tetap pada suatu titik operasi tertentu. Karena itu permasalahan dalam stabilitas sistem adalah bagaimana agar osilasi yang terjadi akibat gangguan tersebut dapat secepat mungkin kembali ke kondisi normal.

Guna keperluan analisis ada tiga kondisi yang harus dipertimbangkan yaitu stabilitas keadaan mantap, stabilitas transien dan stabilitas dinamik. Stabilitas keadaan mantap adalah keandalan sistem tenaga untuk mempertahankan keadaan sinkron yaitu kesamaan parameter tegangan, frekuensi dan daya antara mesin dalam sistem dan *external tie line* terhadap gangguan kecil, gangguan kecil perlahan adalah fluktuasi beban normal rata-rata, yang diatasi aksi pengaturan tegangan dan governor turbin otomatis. Jika transfer daya dilampaui, mesin baik secara individual atau secara group akan berhenti beroperasi sinkron, fluktuasi tegangan yang besar akan terjadi dan batas stabilitas keadaan mantap untuk seluruh sistem akan dicapai. Hilangnya sinkron ialah kemungkinan akibat dari beban tiba-tiba dipasang atau dilepas dan terjadi gangguan di bawah batas keadaan mantap. Dengan perubahan yang cepat atau pembebanan yang tiba-tiba,

ayunan akan terjadi pada sistem dan kehilangan sinkron akan terjadi, sebagaimana perubahan beban yang terjadi dengan perlahan.

Stabilitas dinamik ialah kemampuan sistem tenaga mempertahankan keadaan serempak setelah ayunan pertama (periode stabilitas transien) hingga sistem mencapai kondisi keseimbangan keadaan mantap yang baru bila waktu cukup setelah gangguan, governor penggerak mula akan menambah atau mengurangi energi masukan untuk mencapai keseimbangan antara energi masukan dan beban. Biasanya ini terjadi antara 1 sampai 1.5 detik setelah gangguan. Periode antara governor mulai bereaksi dan keseimbangan keadaan mantap ditetapkan kembali adalah periode karakteristik stabilitas dinamik sistem yang efektif. Studi stabilitas dinamik mencakup interval waktu yang lebih panjang, barang kali 5 – 10 detik, sekali-sekali sampai 30 detik, tergantung pada inersia sistem dan karakteristik *governor*.

Stabilitas transien adalah keandalan untuk mempertahankan keadaan serempak setelah gangguan besar tiba-tiba. Periode gangguan terutama saat governor dapat bekerja, yaitu ayunan pertama rotor mesin selama satu detik mengikuti gangguan tersebut periode stabilitas transien. Waktu eksaknya tergantung pada karakteristik mesin dan sistem transmisi. Gangguan besar tiba-tiba meliputi hubung singkat, pengamananan gangguan, perubahan beban tiba-tiba dan kegagalan *tripping* jaringan dan generator. Daya maksimum yang dapat ditransfer melalui sistem tanpa kehilangan stabilitas di bawah gangguan tiba-tiba disebut batas stabilitas transien. Faktor yang mempengaruhi stabilitas transien yaitu kekuatan jaringan transmisi dan *tie-line* ke sistem-sistem yang berdekatan, karakteristik unit-unit pembangkit meliputi momen inersia bagian yang berputar, reaktansi transient dan karakteristik magnetik saturasi dari stator dan rotor. Faktor lain adalah kecepatan dari melepas atau menghubungkan dari peralatan jaringan transmisi dan kembali dapat melayani beban. Sebagaimana kasus stabilitas keadaan mantap, kecepatan sistem eksitasi generator merespon adalah penting mempertahankan stabilitas transien. Gangguan sistem biasanya disertai penurunan tegangan sistem dengan cepat, maka pemulihan tegangan dengan cepat ke normal adalah penting untuk mempertahankan stabilitas.

Pada pengoperasian sistem tenaga listrik dapat saja terjadi gangguan seperti lepasnya beban pada salah satu bus yang mengakibatkan ketidakstabilan sistem. Guna mengantisipasi dimasa yang akan datang seperti kejadian lepasnya beban pada salah satu bus perlu dilakukan suatu penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan lepasnya beban pada salah satu bus, kemudian melihat respon yang terjadi pada pembangkit besar yang ada pada sistem Sumbar-Riau yaitu PLTA Singkarak, PLTA Maninjau, PLTU Ombilin dan PLTA Koto Panjang. Pada Pembangkit juga dipasang suatu alat penstabil yang disebut dengan *Power System Stabilizer (PSS)*.

B. Permasalahan

Masalah stabilitas tenaga listrik dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

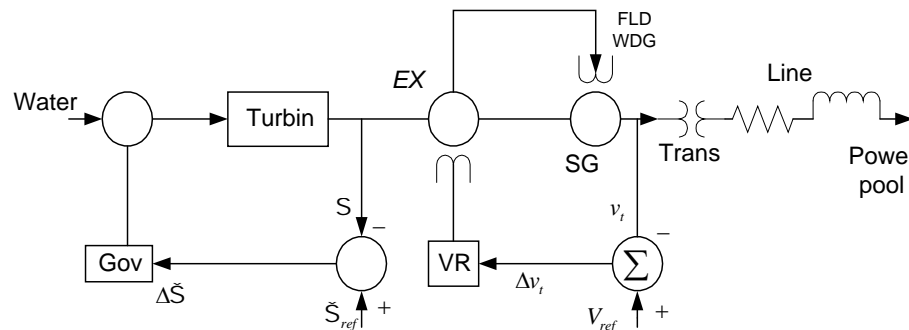
1. Bagaimana respon dari pembangkit tenaga listrik di Sumbar-Riau bila terjadinya gangguan ?
2. Sejauh mana perbaikan dinamika sistem tenaga listrik yang dihasilkan dengan adanya pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Komponen dasar sistem tenaga listrik

Guna memahami watak sistem tenaga listrik dan desain kendali untuk perbaikan kinerja, perlu diketahui komponen dasar dari pembangkit tenaga listrik.

Komponen dasar dari pembangkit tenaga listrik diperlihatkan pada gambar 2.1. secara sistematis. Pada gambar ditunjukkan turbin dan governor dengan kecepatan umpan balik $\Delta\dot{S}$, generator SG, eksitasi regulator tegangan VR dengan umpan balik tegangan, transformator dan jaringan transmisi.



Gambaaer 2.1. Komponen dasar pembangkit tenaga listrik

1. Turbin

Konversi energi mekanik dengan turbin uap adalah proses termodinamik, dimana uap diekspansikan melalui turbin tekanan rendah, menengah dan tinggi secara normal semuanya pada satu poros. Energi uap tekanan tinggi dan temperature tinggi dari boiler dikonversikan menjadi energi mekanik melalui sirip turbin dan dialihkan ke poros yang terhubung dengan generator.

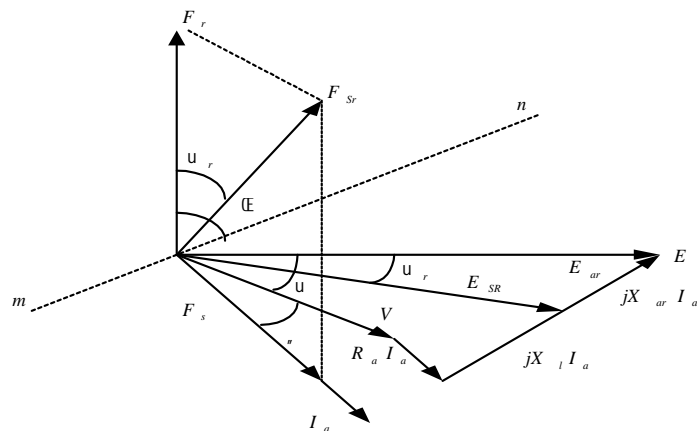
2. Governor

Fungsi governor adalah untuk mempertahankan kecepatan konstan, yaitu kecepatan sinkron turbin-generator set. Bila kecepatan turun, guna menaikkan

keluaran daya listrik maka akan mengirim sinyal ke governor untuk menaikkan masukan daya mekanik ke turbin dan bila kecepatan naik maka daya masukan mekanik dikurangi guna mempertahankan kecepatan konstan. Pada pembangkit yang besar governor memberikan fungsi kendali daya dan frekuensi, dari area yang berada didalam interkoneksi besar.

B. Persamaan Ayunan.

Pada kondisi operasi normal posisi relative sumbu rotor dan sumbu medan magnetik adalah tetap. Sudut antara keduanya disebut sudut daya atau sudut torsi. Selama gangguan, rotor akan mengalami perlambatan atau percepatan terhadap putaran sinkron *magnetomotive force (mmf)* celah udara, dan memulai gerak relative. Persamaan yang menggambarkan gerak relative tersebut adalah persamaan ayunan. Jika setelah periode osilasi, rotor kembali ke kecepatan sinkron, generator akan mempertahankan stabilitas. Jika gangguan tidak diikuti dengan perubahan daya, rotor kembali ke posisi semula. Jika gangguan diikuti perubahan pembangkitan, beban atau kondisi jaringan, rotor akan menuju sudut daya operasi yang baru relative dengan medan putar yang kembali sinkron. Diagram fasor ilustrasi generator silindris dua kutup pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram fasor satu fasa generator rotor silinder

Dari gambar 2.2, sudut daya α adalah sudut antara mmf rotor F_r dan mmf resultan celah udara E_{sr} , keduanya berputar dengan kecepatan sinkron. Juga sudut antara emf E yang dibangkitkan tanpa beban dan resultan tegangan stator E_{sr} . Jika fluks bocor dan resistansi jangkar generator diabaikan, sudut antara E dan tegangan terminal V adalah α yang merupakan sudut daya.

Generator sinkron yang membangkitkan torsi elektromagnetik T_e dan berputar dengan kecepatan ω_s serta torsi mekanik T_m pada rotor, maka operasi *steady state* dengan mengabaikan rugi-rugi adalah

$$T_m = T_e \dots \dots \dots (1)$$

Jika J adalah kombinasi momen inersia dari penggerak mula dan generator, dengan mengabaikan gesekan dan torsi peredam, dari hukum rotasi diperoleh

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = T_m - T_e \dots \dots \dots (2)$$

Dalam bentuk persamaan daya

$$J \omega_s \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = P_m - P_e$$

Persamaan ayunan dengan konstanta inersia

$$M \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = P_m - P_e \dots \dots \dots (3)$$

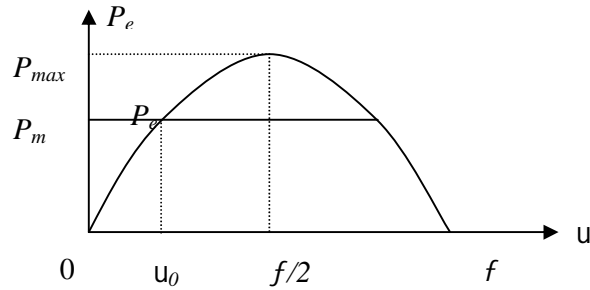
Dalam bentuk perunit

$$\frac{H}{180} \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = P_m - P_e \dots \dots \dots (4)$$

$$P_e = \frac{|E'| |V|}{X_{12}} \sin \alpha \dots \dots \dots (5)$$

Dengan E' tegangan transien dibelakang reaktansi transien x'_d (bus-1), V tegangan pada tak terhingga (bus 2), x_{12} reaktansi antara bus 1 dan bus 2, ini adalah bentuk sederhana dari persamaan aliran daya dan dasar untuk memahami masalah stabilitas. Hubungan daya yang dipindahkan bergantung pada reaktansi

alih dan sudut antara dua tegangan. Kurva P_e versus u adalah diperlihatkan pada gambar 2.3. di bawah ini



Gambar 2.3. Kurva sudut daya

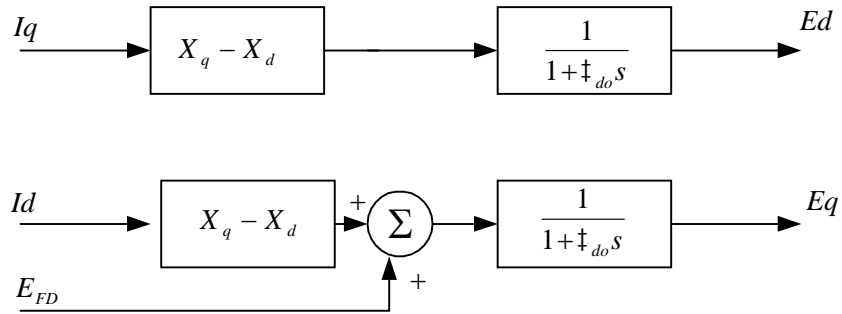
Naiknya keluaran daya generator yang mungkin hingga daya listrik maksimum ditransfer. Daya maksimum ini dinyatakan sebagai limit stabilitas *steady state*, dan terjadi saat sudut 90^0 .

$$P_{max} = \frac{|E'| |V|}{X_{12}} \dots\dots\dots(6)$$

Jika usaha memperluas u dilakukan dengan menambah daya masukan poros, maka keluaran daya listrik akan menurun dari titik P_{max} , mesin akan mengalami percepatan hingga kehilangan sinkron dengan bus tak terhingga.

C. Persamaan generator model dua sumbu

Pada penelitian ini, model yang akan dipakai untuk mesin sinkron adalah model dua sumbu. Pada model ini, efek transien diperhitungkan sedangkan efek subtransien diabaikan. Efek transien disebut didominasi oleh rangkaian-rangkaian rotor, yaitu rangkaian medan pada sumbu d dan rangkaian ekivalen pada sumbu q yang dibentuk oleh rotor solid. Asumsi tambahan yang dibuat untuk model ini adalah pada persamaan tegangan dalam bentuk $\dot{\psi}_d$ dan $\dot{\psi}_q$ (turunan pertama dari fluksi lingkup sumbu d dan sumbu q diabaikan dibandingkan komponen tegangan kecepatan (speed voltage) dan $\tilde{S} = \tilde{S}_R = 1 pu$. Jadi mesin hanya akan memiliki dua rangkaian stator dan dua rangkaian rotor. Diagram blok dari model tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



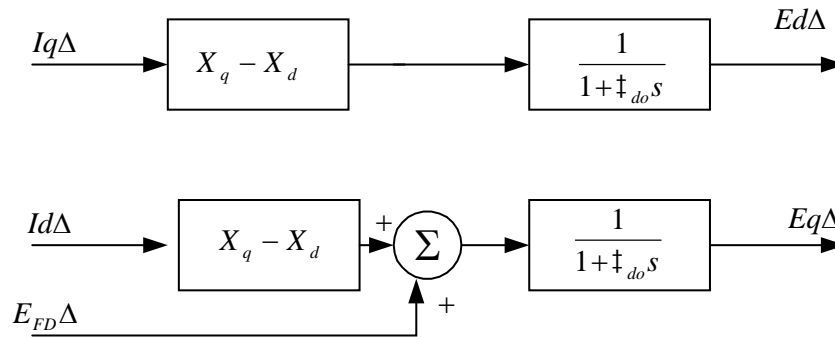
Gambar 2.4. diagram blok model dua sumbu

Persamaan generator

$$\begin{aligned}
 \ddagger'_{q0} \dot{E}'_d &= -E'_d - (xq - xq')Iq \\
 \ddagger'_{q0} \dot{E}'_q &= E_{FD} - E'_q + (xq - xq')Id \\
 \ddagger'_j \dot{S} &= T_m - D\check{S} - (E'_d I_d + E'_q I_q) \\
 \dot{u} &= \check{S} - 1 \dots\dots\dots(7)
 \end{aligned}$$

linierisasi persamaan (7) menghasilkan:

$$\begin{aligned}
 \ddagger'_{q0} \dot{E}'_{d\Delta} &= -E'_{d\Delta} - (xq - x'q)I_{q\Delta} \\
 \ddagger'_{d0} \dot{E}'_{q\Delta} &= E_{FDA} - E'_{q\Delta} + (x_d - x'_d)I_{d\Delta} \\
 \ddagger'_j \dot{S}_\Delta &= T_{m\Delta} - D_{\check{S}\Delta} - (I_{d0}E'_{d\Delta} + I_{q0}E'_{q\Delta} + E'_{d0}I_{d\Delta} + E_{q0}I_{q\Delta}) \\
 \dot{u}_\Delta &= \check{S}_\Delta \dots\dots\dots(8)
 \end{aligned}$$

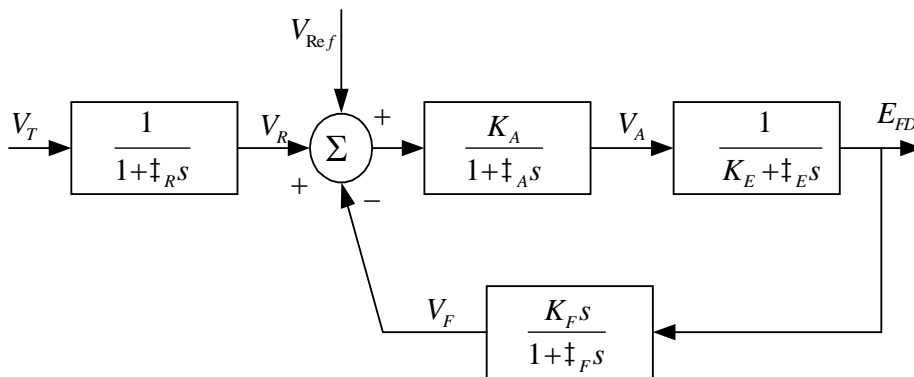


Gambar 2.5. diagram blok linier dari model dua sumbu

D. Persamaan sistem eksitasi

Sistem kontrol eksitasi umumnya terdiri dari beberapa komponen yaitu penyearah (rectifier), pengatur tegangan (voltage regulator) dan komparator, (penguat amplifire) dan exciter.

Sistem eksitasi yang ditinjau untuk generator dari sistem tenaga listrik ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut



Gambar 2.6. diagram blok sistem eksitasi

Deskripsi ruang keadaan dari sistem eksitasi tersebut adalah :

$$\dot{V}_R = \frac{1}{\tau_R} V_T - \frac{1}{\tau_R} V_R$$

$$\dot{V}_F = \frac{K_F}{\tau_F} E_{fd} - \frac{1}{\tau_F} V_F$$

$$\begin{aligned}\dot{V}_A &= \frac{K_A}{\tau_A} (V_{ref} - V_F) - \frac{1}{\tau_A} V_A \\ \dot{E}_{fd} &= \frac{1}{\tau_E} V_A - \frac{K_E}{\tau_E} E_{fd} \dots\dots\dots(9)\end{aligned}$$

untuk:

τ_R = konstanta waktu input regulator

K_F = penguatan rangkaian penstabil regulator

τ_F = konstanta waktu rangkaian penstabil regulator

K_A = penguatan regulator

E_{fd} = Tegangan medan

τ_A = konstanta waktu regulator

K_g = eksitasi-diri eksiter pada tegangan medan beban penuh

τ_E = konstanta waktu eksiter

eksitasi linier (9) diperoleh

$$\begin{aligned}\dot{V}_{R\Delta} &= \frac{1}{\tau_R} V_{T\Delta} - \frac{1}{\tau_R} V_{R\Delta} \\ \dot{V}_{F\Delta} &= \frac{K_F}{\tau_F} E_{fd\Delta} - \frac{1}{\tau_F} V_{F\Delta} \\ \dot{V}_{A\Delta} &= \frac{K_A}{\tau_A} (V_{REF\Delta} - V_{F\Delta}) - \frac{1}{\tau_A} V_{A\Delta} \\ \dot{E}_{fd\Delta} &= \frac{1}{\tau_E} V_{A\Delta} - \frac{K_E}{\tau_E} E_{fd\Delta} \dots\dots\dots(10)\end{aligned}$$

Pada persamaan (10) diatas, tegangan V_T merupakan fungsi dari variabel-variabel keadaan, jadi persamaan tersebut adalah non-linier. Linierisasi dari persamaan tegangan tersebut adalah sebagai berikut :

Persamaan tegangan :

$$V_T^2 = V_d^2 + V_q^2 \dots\dots\dots(11)$$

Jika (11) dilinierisasi diperoleh :

$$V_{T\Delta} = \frac{V_{do}}{V_o} V_{d\Delta} + \frac{V_{qo}}{V_o} V_{q\Delta}$$

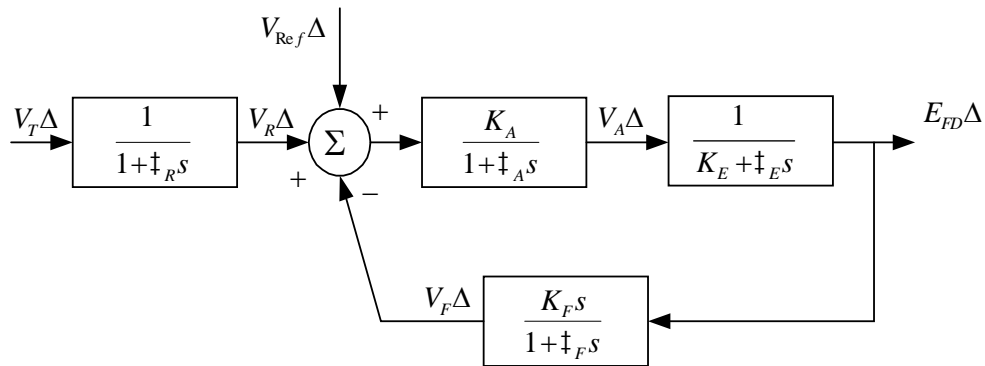
atau

$$V_{T\Delta} = \frac{V_{do}}{V_o} (E_{d\Delta}^I - I_{q\Delta} x_d^I) + \frac{V_{qo}}{V_o} (E_{q\Delta}^I + I_{d\Delta} x_d^I) \dots\dots\dots(12)$$

sehingga persamaan (9) menjadi :

$$\begin{aligned} \dot{V}_{R\Delta} &= \frac{1}{\tau_R} \left[\frac{V_{do}}{V_o} E_{q\Delta}^I + \frac{V_{qo}}{V_o} E_{q\Delta}^I - \frac{V_{do}}{V_o} x_d^I I_{q\Delta} + \frac{V_{qo}}{V_o} x_d^I I_{d\Delta} \right] - \frac{1}{\tau_R} V_{R\Delta} \\ \dot{V}_{F\Delta} &= \frac{K_F}{\tau_F} E_{fd\Delta} - \frac{1}{\tau_F} V_{F\Delta} \\ \dot{V}_{A\Delta} &= \frac{K_A}{\tau_A} (V_{REF\Delta} - V_{R\Delta}) - \frac{1}{\tau_A} V_{A\Delta} \\ \dot{E}_{fd\Delta} &= \frac{1}{\tau_B} V_{A\Delta} - \frac{K_B}{\tau_B} E_{fd\Delta} \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

Dari persamaan (13) dapat dibuat diagram blok linier eksitasi



Gambar 2.7. Diagram blok linier sistem eksitasi generator

E. Pengaruh sistem eksitasi

Sinyal kontrol eksitasi biasanya dari tegangan terminal generator E_t yang dinyatakan dalam bentuk *variable state* $\tilde{S}_r, \Delta u$ dan ΔE_{fd} .

$$\tilde{E} = e_d + j e_q$$

Sehingga

$$E_t^2 = e_d^2 + je_q^2$$

Dengan memberikan sinyal gangguan dapat ditulis:

$$(E_{t0} + \Delta E_t)^2 = (e_{d0} + \Delta e_d)^2 + (e_{q0} + \Delta e_q)^2$$

Dengan mengabaikan order kedua, persamaannya dapat diberikan

$$\Delta E_{t0} \Delta E_t = e_{d0} \Delta e_d + e_{q0} \Delta e_q$$

Sehingga persamaannya menjadi

$$\Delta E_t = \frac{e_{d0}}{E_{t0}} \Delta e_d + \frac{e_{q0}}{E_{t0}} \Delta e_q \dots\dots\dots(14)$$

untuk

$$\Delta e_d = -R_a \Delta i_d + L_1 i_q - \Delta \mathcal{E}_{eq}$$

$$\Delta e_q = -R_a \Delta i_q - L_1 \Delta i_d + \Delta \mathcal{E}_{ad}$$

Dengan mengeliminasi $\Delta i_d, \Delta i_q, \Delta \mathcal{E}_{ad}$ dan $\Delta \mathcal{E}_{aq}$ dalam dan mensubstitusikan dalam Δe_d dan Δe_q pada persamaan 2.1 diperoleh

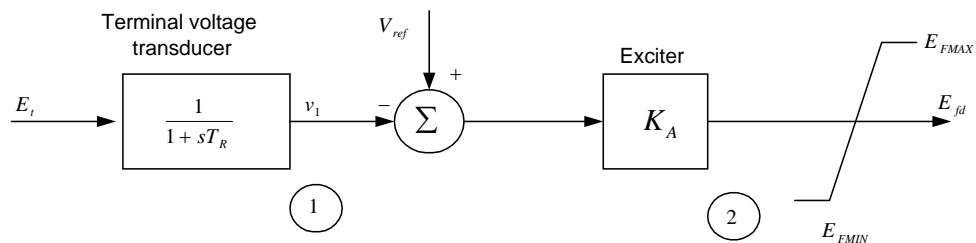
$$\Delta E_t = K_5 \Delta u + K_6 \Delta \mathcal{E}_{fd} \dots\dots\dots(15)$$

untuk

$$K_5 = \frac{e_{d0}}{E_{t0}} [-R_a m_1 + L_1 n_1 + L_{aqs} n_1] + \frac{e_{q0}}{E_{t0}} [-R_a n_1 - L_1 m_1 - L'_{ads} m_1] \dots\dots\dots(16)$$

$$K_6 = \frac{e_{d0}}{E_{t0}} [-R_a m_2 + L n_2 + L_{aqs} n_2] + \frac{e_{q0}}{E_{t0}} \left[-R_a n_2 - L_1 m_2 + L'_{ads} \left(\frac{1}{L_{fd}} - m_2 \right) \right] \dots(17)$$

Untuk tujuan ilustrasi dan pengujian stabilitas sinyal gangguan dimodelkan sistem eksitasi pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. sistem eksitasi dengan AVR

Dari gambar 2.8. didapatkan.

Untuk blok 1

$$p\Delta v_1 = \frac{1}{1 + pT_R} \Delta E_t$$

Sehingga

$$p\Delta v_1 = \frac{1}{T_R} (\Delta E_t - \Delta v_1)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.15 menjadi

$$p\Delta v_1 = \frac{K_5}{T_R} \Delta u + \frac{K_6}{T_R} \Delta E_{fd} - \frac{1}{T_R} \Delta v_1 \dots\dots\dots(18)$$

Dari blok 2 didapatkan

$$E_{fd} = K_A (-\Delta v_t)$$

Perubahan tegangan terminal nya

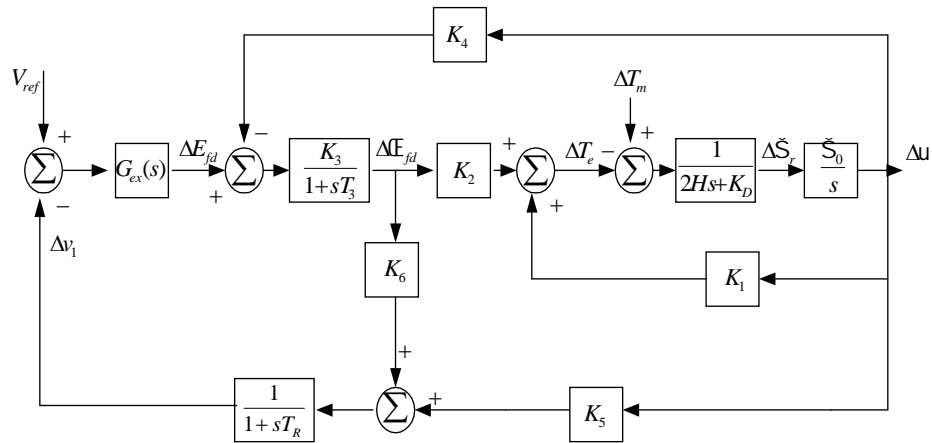
$$\Delta E_{fd} = K_A (-\Delta v_1) \dots\dots\dots(19)$$

Persamaan arus medan dinamik dengan pengaruh sistem eksitasi menjadi:

$$p\Delta E_{fd} = a_{31} \Delta \check{S}_r + a_{32} \Delta u + a_{33} \Delta E_{fd} + a_{34} \Delta v_1 \dots\dots\dots(20)$$

Secarah keseluruhan model state-space untuk power sistem dengan sistem eksitasi pada gambar 2.8. dapat di tulis:

$$\begin{bmatrix} \Delta \check{S}_r \\ \Delta \dot{u} \\ \Delta E_{fd} \\ \Delta \dot{v}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \check{S}_r \\ \Delta u \\ \Delta E_{fd} \\ \Delta v_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta T_m \dots\dots\dots(21)$$



Gambar 2.9. blok diagram dengan eksitasi dan AVR

Dari gambar 2.9 di atas diperlihatkan bahwa $G_{ex}(s)$ merupakan transfer fungsi AVR dan eksiter

$$G_{ex}(s) = K_A$$

Perubahan tegangan terminal dari tegann input blok tranduser adalah

$$\Delta E_t = K_5 \Delta u + K_6 \Delta E_{fd}$$

Koefisien K_6 akan selalu positif, sedangkan K_5 bisa bernilai positif atau pun negative. Koefisien K_5 sangat signifikan pengaruhnya terhadap perubahan AVR pada damping osilasi.

F. Pengaruh AVR pada sinkronisasi dan damping torsi

Dengan aksi dari pada *automatic voltage regulator (AVR)* fluks medan berubah-ubah yang diakibatkan oleh perubahan tegangan medan. Dari gambar 2.9 di peroleh

$$\Delta E_{fd} = \frac{K_3}{1+sT_3} \left[-K_4 \Delta u - \frac{G_{ex}(s)}{1+sT_R} \right] (K_5 \Delta u + K_6 \Delta E_{fd}) \dots \dots \dots (22)$$

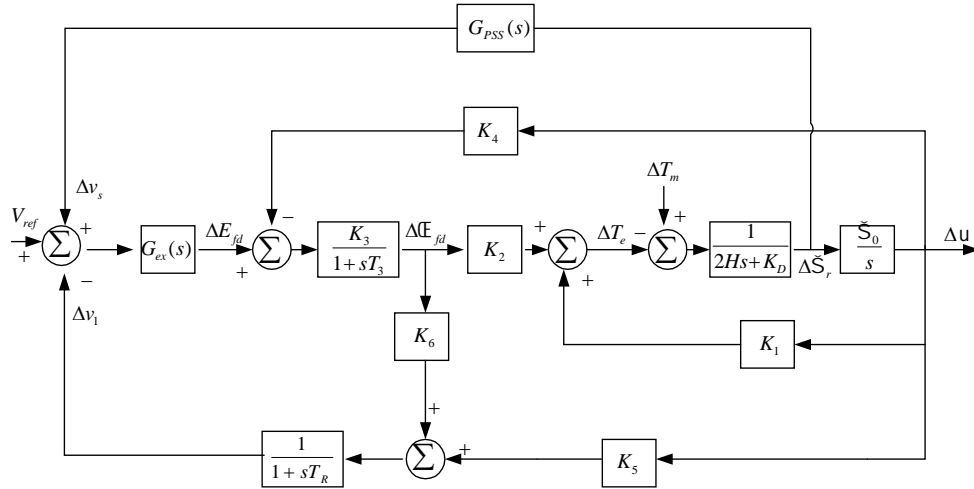
Dengan menggunakan semua blok pada gambar 9 didapatkan

$$\Delta E_{fd} = \frac{-K_3 [K_4 (1+sT_R) + K_5 G_{ex}(s)]}{s^2 T_3 T_R + s(T_3 + T_R) + 1 + K_3 K_6 G_{ex}(s)} \dots \dots \dots (23)$$

G. Power Sistem Stabilizer (PSS)

Fungsi dasar dari *Power sistem stabilizer (PSS)* adalah untuk memberikan damping osilasi rotor generator dengan mengotrol sinyal exsitasi (Kundur 1994).

Untuk mendapatkan damping yang bagus stabilizer mengubah kecepatan rotor \tilde{S}_r menjadi torsi elektrik. Gambaran dari *Power Sistem Stabilizer (PSS)* ditunjukkan pada gambar 10



Gambar 2.10. Blok diagram dengan AVR dan PSS

Dari gambar diatas ditunjukkan jika fungsi transfer $G_{ex}(s)$ dan fungsi transfer generator ΔE_{fd} dan ΔT_e merupakan gain dasar, maka umpanbalik \tilde{S}_r akan mejumlahkan torsi damping sebagai kompensasi dari *Powers Sistem Stabilizer (PSS)* .

Dengan mengilustrasikan prinsip penggunaan *Power System Stabilizer (PSS)* dengan mengikuti parameter yang dicontohkan untuk mengetahui pengaruh dari sistem eksitasi pada gambar 2.10 . Dari blok diagram 2.10. jika T_R diabaikan , $\Delta \Psi_{fd}$ dengan PSS dapat dituliskan

$$\Delta E_{fd} = \frac{K_3 K_A}{1 + sT_3} (-K_6 \Delta E_{fd} + \Delta v_s)$$

$$\frac{\Delta E_{fd}}{\Delta v_s} = \frac{K_3 K_A}{sT_3 + 1 + K_3 K_6 K_A}$$

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Dari hasil studi stabilitas sistem tenaga listrik di Sumbar-Riau , maka diharapkan akan memperoleh tujuan dan manfaat:

1. Mengetahui respon dari tiap-tiap pembangkit di Sumbar-Riau bila terjadinya pelepasan beban pada salah satu bus.
2. Mengentahui sejauh mana perbaikan respon pembangkit tenaga listrik bila digunakan *Power System Stabilizer (PSS)*.
3. Sebagai informasi kepada PT. PLN guna mengetahui keadaan atau tanggapan dari tiap-tiap sistem pembangkit bila terjadinya gangguan atau pelepasan beban disalah satu bus. Dan juga dapat dijadikan referensi dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik Sumbar-Riau.
4. Menambah wawasan mengenai sistem tenaga listrik pada umumnya dan khususnya masalah stabilitas sistem, serta kemampuan *power system stabilizer (PSS)* dalam memperbaiki unjuk kerja sistem.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan dari setiap pembangkit di Sumbar-Riau bila terjadinya pelepasan beban disuatu bus.

A. Persiapan Data

Untuk studi stabilitas dinamis, data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Data aliran daya sebelum gangguan untuk menghitung tegangan-tegangan terminal mesin dan besarnya daya yang dibangkitkan
2. Transmisi
3. Beban

B. Langkah-langkah studi stabilitas sistem tenaga listrik

Langkah-langkah untuk menganalisa kestabilan dinamis suatu sistem tenaga listrik dapat diringkaskan sebagai berikut :

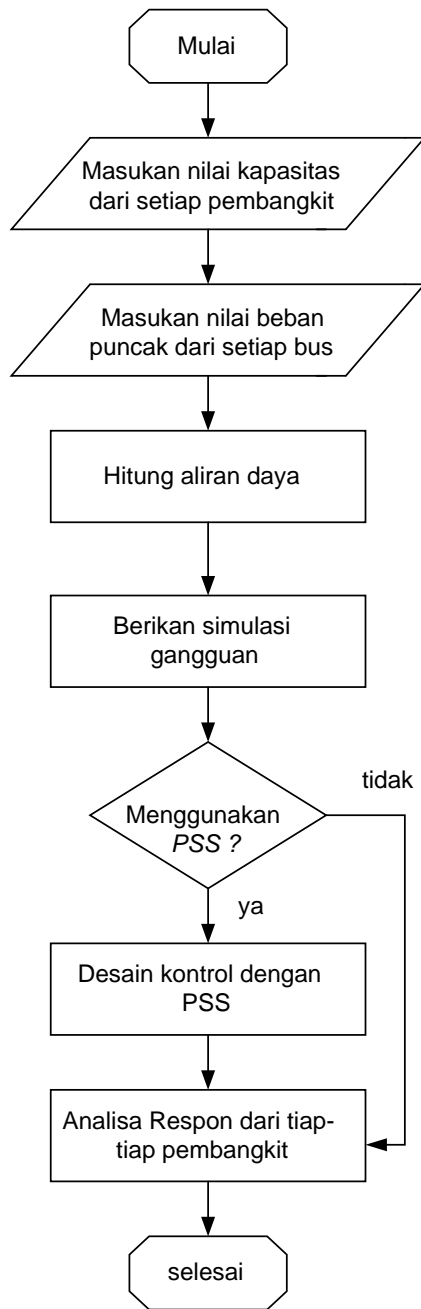
1. Lakukan studi aliran daya untuk mengetahui tegangan dan daya yang dibangkitkan oleh generator-generator
2. Tentukan persamaan generator dan sistem eksitasi
3. Berikan simulasi gangguan di salah satu bus
4. Analisa respon dari setiap pembangkit
5. Gunakan *Power System Stabilizer (PSS)*
6. Ulangi langkah 3 dan 4

7. membandingkan hasil analisis sebelum dan sesudah digunakan *Power System Stabilizer (PSS)*

C. Diagram Alir Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Sumatera Barat-Riau

Gambar diagram alir simulasi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat-Riau dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah :



gambar 4.1 Diagram alir stabilitas sistem tenaga listrik Sumatera Barat-Riau

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

A. Sistem tenaga listrik yang ditinjau

Sistem tenaga listrik yang di tinjau adalah sistem tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau, sistem ini terdiri dari beberapa pusat pembangkit yaitu :

Maninjau dengan kapasitas pembangkit sebesar 68 MW

Koto Panjang dengan kapasitas pembangkit sebesar 114 MW

Singkarak dengan kapasitas pembangkit sebesar 175 MW

Ombilin dengan kapasitas pembangkit sebesar 200 MW

Total kapasitas daya terpasang sebesar 557 MW melayani beban sebesar 451.200 MW melalui transmisi sepanjang 851,282 km (data pada Juli 2007).

Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat – Riau dapat dilihat pada diagram satu garis pada gambar 5.1.

B. Data pembangkit dan beban

Data-data pembangkit dan data beban dapat dilihat dari table 5.1.

Tabel 5.1. Data pembangkit pada sistem tenaga listrik Sumatera Barat – Riau

No	Lokasi	Unit generator	Kapasitas (MW)
1	Maninjau	G1	17
		G2	17
		G3	17
		G4	17
2	Koto Panjang	G5	38
		G6	38
		G7	38
3	Singkarak	G8	43.750
		G9	43.750
		G10	43.750
		G11	43.750
4	Ombilin	G12	100
		G13	100
	Jumlah		557

C. Data-data beban sistem tenaga listrik Sumatera Barat - Riau

Tabel 5.2. menunjukkan data-data beban sistem pembangkit tenaga listrik Sumatera Barat - Riau, yang terjadi pada bulan Juli 2007.

Tabel 5.2. data beban sistem pembangkit tenaga listrik Sumatera Barat - Riau

NO	PUSAT BEBAN	BEBAN
		MW
1	Maninjau	14,00
2	Lubuk Alung	17,50
3	Pauh Limo	23,20
4	Simpang Haru	56,60
5	PIP	18,90
6	Indarung	59,00
7	Solok	16,100
8	Salak	9,50
9	Batusangkar	7,70
10	Payakumbuh	15,80
11	Koto panjang	10,80
12	Bengkinang	12,50
13	Garuda sakti	56,70
14	Teluk lembu	45,20
15	Duri /Dumai	43,20
16	Kiliranjao	16,40
17	Padang Luar	28,10
	Jumlah	451,20

D. Data Impedansi saluran sistem pembangkit Sumatera Barat Riau

Data impedansi system tenaga listrik Sumbar Riau dapat dilihat pada table 5.3. di bawah :

Tabel 5.3. Data impedansi saluran transmisi Sumatera Barat Riau

No	RUTE		P(Km)	IMPEDANSI				Y/2 (PU)
	DARI	KE		R1	JX1	R0	JX0	
	1	2		3	4	5	6	
1	Ombilin	Indarung	63,951	7,544	27,114	39,777	116,0690	0,01746
2	Ombilin	Salak	2,417	0,286	1,026	1,558	4,3750	0,00086
3	Salak	Solok	27,480	3,266	12,851	17,092	49,8760	0,00854
4	Solok	Indarung	34,054	4,019	14,851	19,850	62,3790	0,00930
6	Indarung	Pauh Limo	6,660	0,738	14,369	4,369	12,0213	0,00262
7	Pauh Limo	Spang Haru	7,000	0,820	2,823	4,364	12,6210	0,00239
8	Pauh Limo	LB Alung	33,700	3,975	2,968	20,961	61,1655	0,01047
9	Pauh Limo	PI Padang	20,000	2,000	14,288	11,660	36,6400	0,00273
11	PI Padang	LB Alung	13,700	1,666	8,480	7,987	25,0984	-

13	LB Alung	Singkarak	12,000	1,020	5,808	6,660	21,8760	0,00331
14	LB Alung	Maninjau	56,700	6,600	4,980	33,056	103,8744	0,01548
	1	2	3	4	5	6	7	8
15	Maninjau	Pdg Luar	42,000	1,020	24,040	13,818	52,4580	0,01435
16	Pdg Luar	Payakumbuh	32,000	6,609	17,136	10,528	39,9680	0,01093
17	Payakumbuh	Btg Agam	15,000	4,950	13,056	9,955	34,6310	0,00007
18	Payakumbuh	Koto Pnjang	85,100	3,770	4,931	46,972	155,7330	0,02247
19	Ombilin	Batusangkar	32,610	2,230	35,061	10,042	40,6270	0,01095
20	Batusangkar	Payakumbuh	26,110	7,266	12,911	8,040	32,5280	0,00877
21	Bengkinang	Grd Sakti	46,800	2,775	18,860	28,407	83,9592	0,18650
22	Grd Sakti	Duri Dumai	117,00	13,800	49,140	65,403	205,5690	0,01531
23	Grd Sakti	Tlk Lembu	23,000	1,540	9,269	13,984	41,2620	0,00458
24	Ombilin	Kiliranjao	154,00	3,255	2,968	20,961	61,1655	0,01047

E. Hasil penelitian

Seperti yang telah di uraikan, dalam studi stabilitas sistem tenaga listrik di Sumatera Barat Riau terdiri dari beberapa tahap yang dimulai dengan studi aliran daya, simulasi gangguan, analisis respon dari setiap pembangkit sebelum menggunakan *Power System Stabilizer (PSS)* dan analisa respon dari setiap pembangkit setelah menggunakan *Power System Stabilizer (PSS)*. Seluruh perhitungan dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat komputer .

1. Studi Aliran Daya.

Perhitungan aliran daya dilakukan dengan metode Newton-Raphson, berdasarkan data-data beban bulan Juli 2007. Perhitungan aliran daya ini dilakukan untuk mengetahui besarnya daya pada setiap bus pada sistem pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat Riau yang ditunjukkan pada lampiran1. Proses perhitungan aliran daya tersebut konvergen pada iterasi ke 22 yang hasilnya ditunjukkan pada lampiran 1 dan 2.

2. Tanggapan masing-masing pembangkit tenaga listrik saat pelepasan beban

Terjadinya perubahan beban tiba-tiba pada bus Indarung mengakibatkan sistem pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat Riau mengalami gangguan. Gangguan-gangguan yang terjadi diakibatkan oleh adanya pelepasan beban tersebut antara lain: Perubahan sudut rotor, terjadinya osilasi tegangan, frekuensi dan penurunan daya elektrik pada masing-masing pembangkit tenaga listrik di

Sumatera Barat Riau. Respon dari masing-masing pembangkit tersebut ditunjukkan pada gambar 4.1 sampai gambar 4.9 Tanggapan yang diamati yaitu berupa sudut rotor, tegangan dan daya elektrik yang terjadi pada saat pelepasan beban pada bus Indarung.

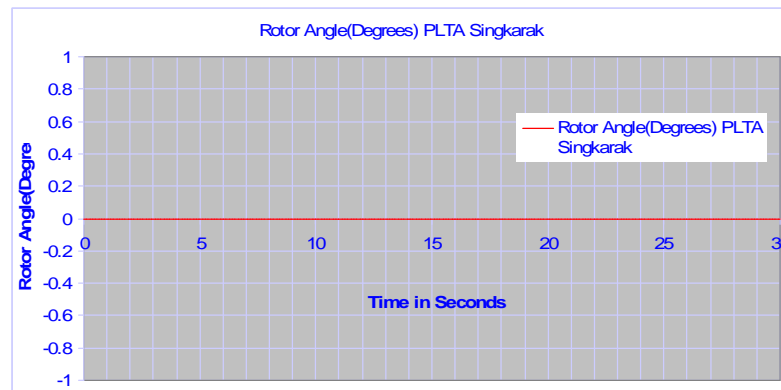
a. Tanggapan Pembangkit Singkarak

Tanggapan pembangkit Singkarak saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.1, 5.2 dan 5.3 yang berupa tanggapan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik.

1. Tanggapan sudut rotor

Tanggapan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukan pada gambar 5.1.

Dalam kasus ini pembangkit Singkarak difungsikan sebagai referensi dan tidak adanya perubahan atau penggeseran sudut rotor .



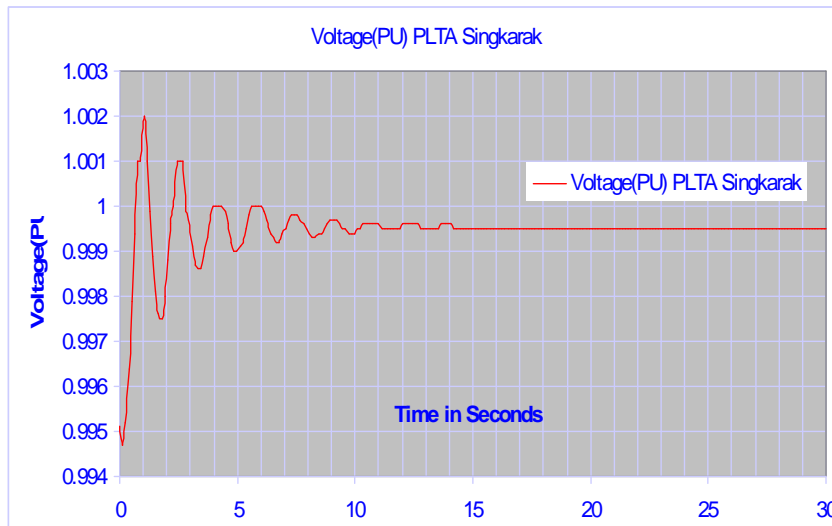
Gambar 5.1. Tanggapan sudut rotor pembangkit Singkarak sebelum dan sesudah menggunakan PSS

2. Tanggapan tegangan

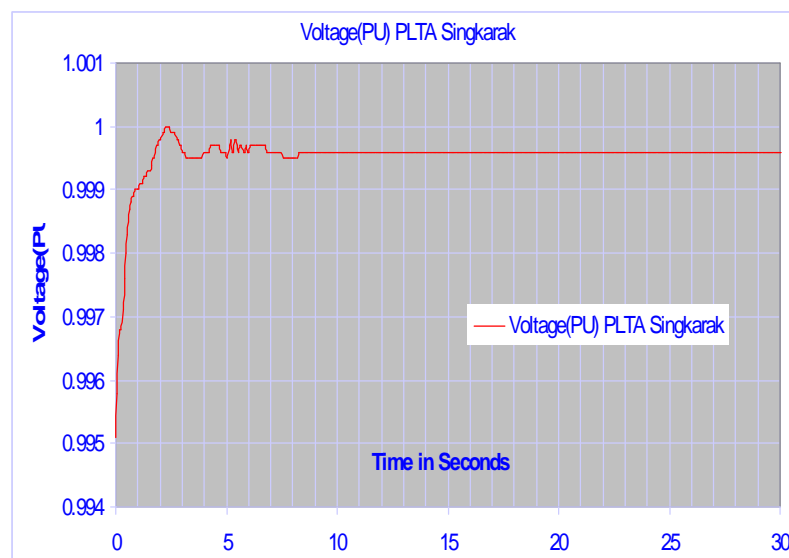
Tanggapan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukan pada gambar 5.1.a dan 5.1.b.

Sebelum pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada gambar 5.1.a menunjukkan bahwa saat terjadinya perlepasan beban pada bus Indarung.

Tegangan pada pembangkit Singkarak mengalami osilasi selama 14,322 detik dengan *overshoot* 0.0068 pu. Setelah pemasangan PSS pada gambar 5.1.b menunjukkan sistem tersebut mengalami redaman waktu osilasi dari 14,322 detik (gambar 5.2.a) menjadi 8,504 detik (gambar 5.2.b), sehingga mengalami perbaikan sebesar 5,818 detik atau 41 %



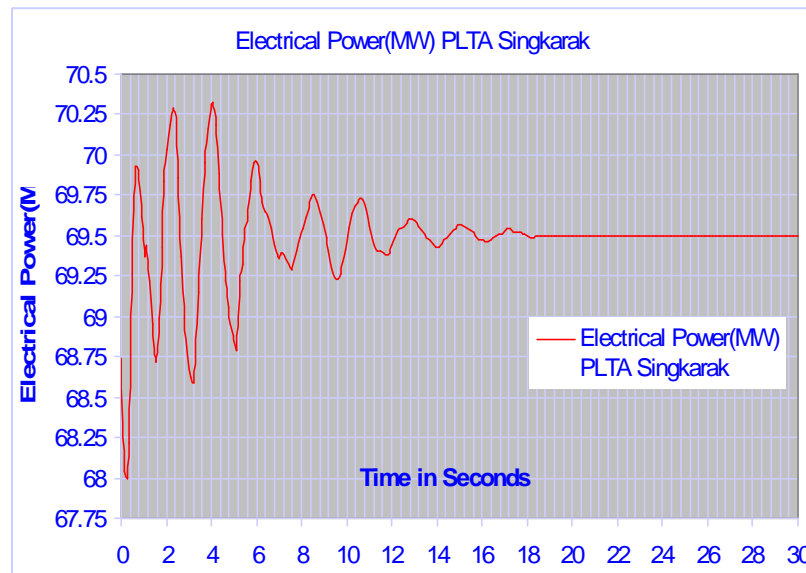
Gambar 5.2.a Tanggapan tegangan pembangkit Singkarak sebelum menggunakan PSS



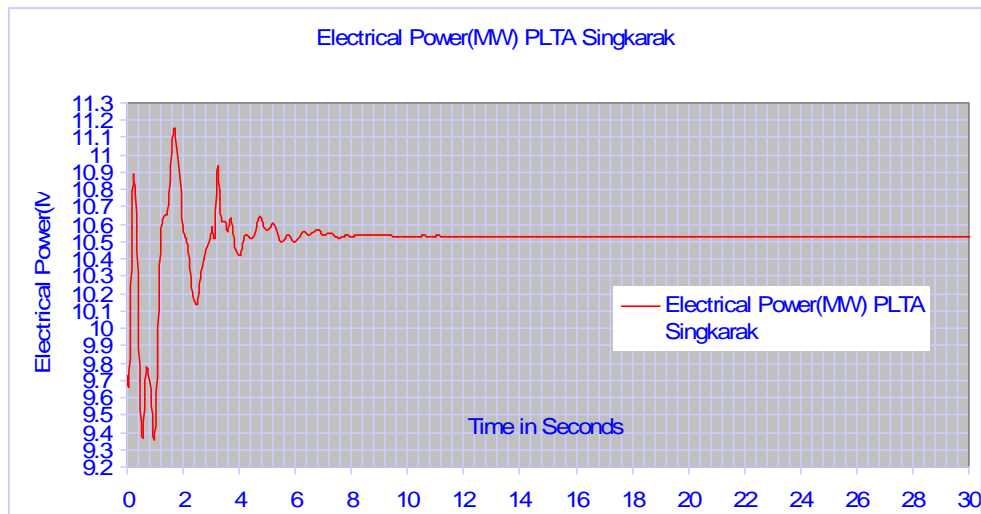
Gambar 5.2.b. Tanggapan tegangan pembangkit Singkarak
sesudah menggunakan PSS

c. Tanggapan daya elektrik

Tanggapan daya elektrik untuk sistem pembangkit Singkarak pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.3.a dan 5.3.b.



Gambar 5.3.a. Tanggapan daya elektrik pembangkit Singkarak
sebelum menggunakan PSS



Gambar 5.3.b. Tanggapan daya elektrik pembangkit Singkarak
sesudah menggunakan PSS

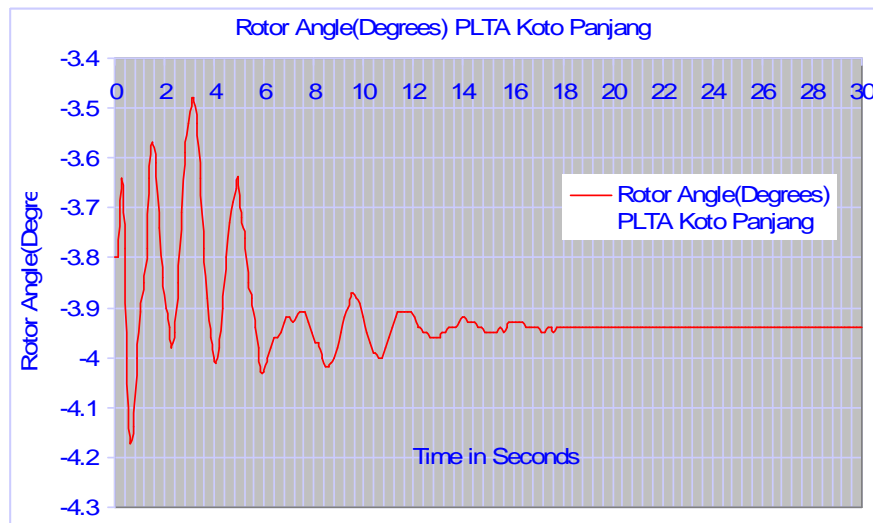
Daya elektrik saat sebelum dan sesudah pemasangan PSS pada sistem pembangkit Singkarak (gambar 5.3.a dan 5.3.b) terjadi pelepasan beban pada bus Indarung mengalami penurunan dari 10.57 MW menjadi 10.53 MW yang beresilasi selama 10.166 detik. Namun waktu osilasi mengalami perbaikan dari 15,09 detik menjadi 10.166 detik atau mengalami perbaikan selama 4.924 detik atau 33 % setelah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* .

2. Tanggapan Pembangkit Koto Panjang

Tanggapan pembangkit Koto Panjang saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.4, 5.5 dan 5.6 yang merupakan tanggapan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik.

a. Tanggapan sudut rotor

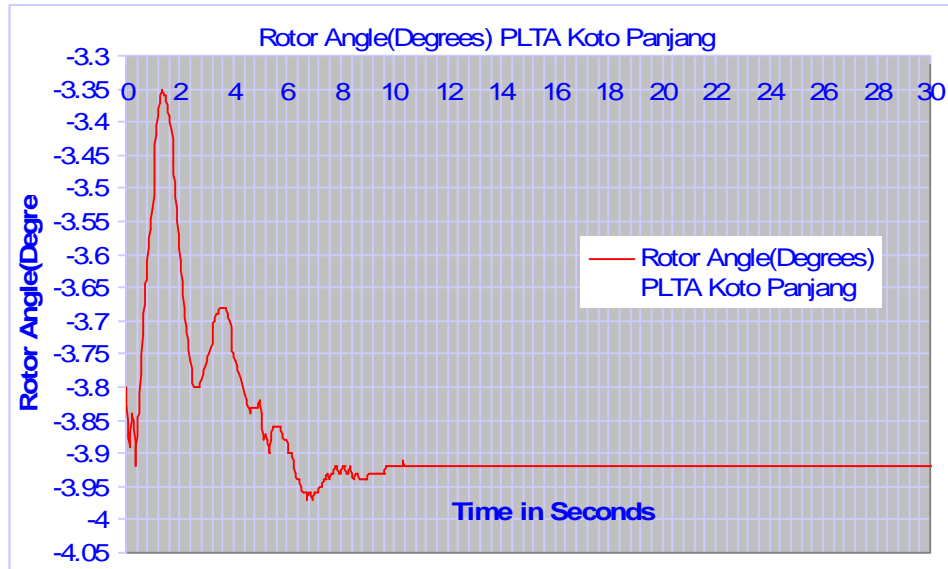
Tanggapan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukkan pada gambar 5.4.a dan 5.4.b



Gambar 5.4.a. Tanggapan sudut rotor pembangkit Koto Panjang
sebelum menggunakan PSS

Dari pengamatan gambar 5.4.a. menunjukkan bahwa pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, pembangkit Koto Panjang mengalami pergeseran sudut rotor dari -3.95^0 menjadi -3.92^0 atau terjadi pergeseran sudut

rotor sebesar 0.03° . dengan overshoot 0.16° . Lamanya osilasi sudut rotor saat terjadinya gangguan yaitu selama 17.904 detik.



Gambar 5.4.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Koto Panjang setelah menggunakan PSS

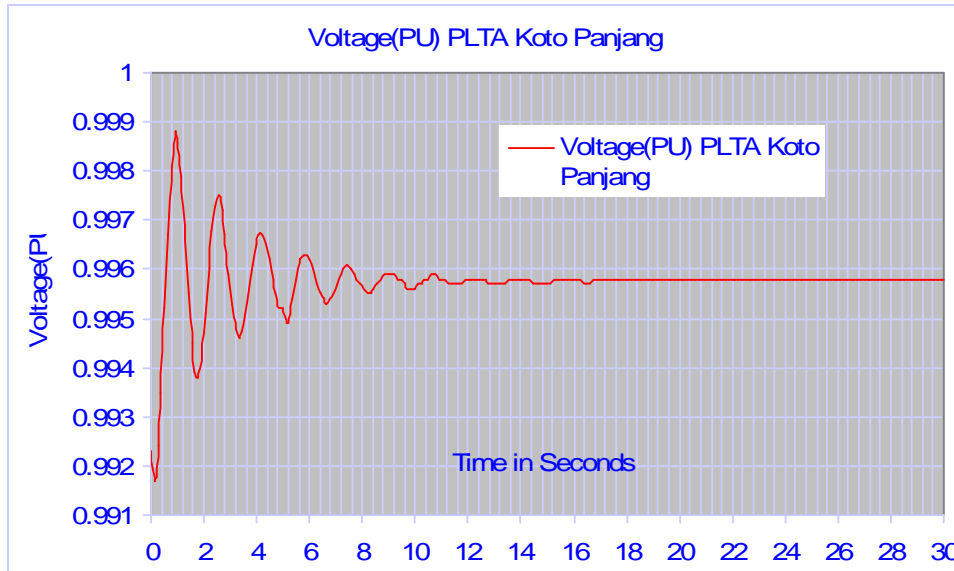
Pembangkit tenaga listrik Koto Panjang setelah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada gambar 5.4.b. memberikan redaman terhadap lamanya waktu osilasi. Dari pengamatan gambar 5.4.a dan 5.4.b waktu osilasi sudut rotor mengalami penurunan dari 17.904 detik menjadi 10,678 detik, sehingga mengalami perbaikan waktu osilasi selama 7.226 detik . Ini menunjukkan pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada pembangkit Koto Panjang memberikan unjuk kerja sistem yang baik.

b. Tanggapan tegangan

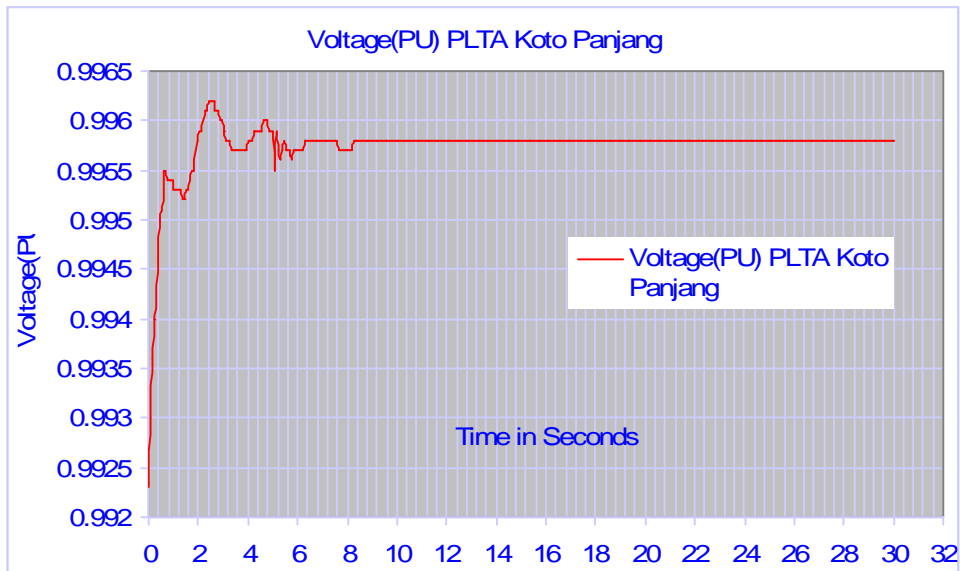
Tanggapan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukkan pada gambar 5.5.a dan 5.5.b.

Sebelum pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada gambar 5.5.a menunjukkan saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, tegangan pada pembangkit Koto Panjang mengalami osilasi selama 16.88 detik dengan *overshoot* 0.068 pu. Namun hasil pengamatan setelah pemasangan *Power Sistem Stabilizer*

(PSS) pada gambar 5.5.b menunjukkan sistem tersebut mengalami peredaman waktu osilasi dari 16.88 detik (gambar 5.5.a) menjadi 8,054 detik atau 52,3 % (gambar 5.5.b), sehingga mengalami perbaikan sebesar 8.826 detik .



Gambar 5.5.a. Tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan PSS

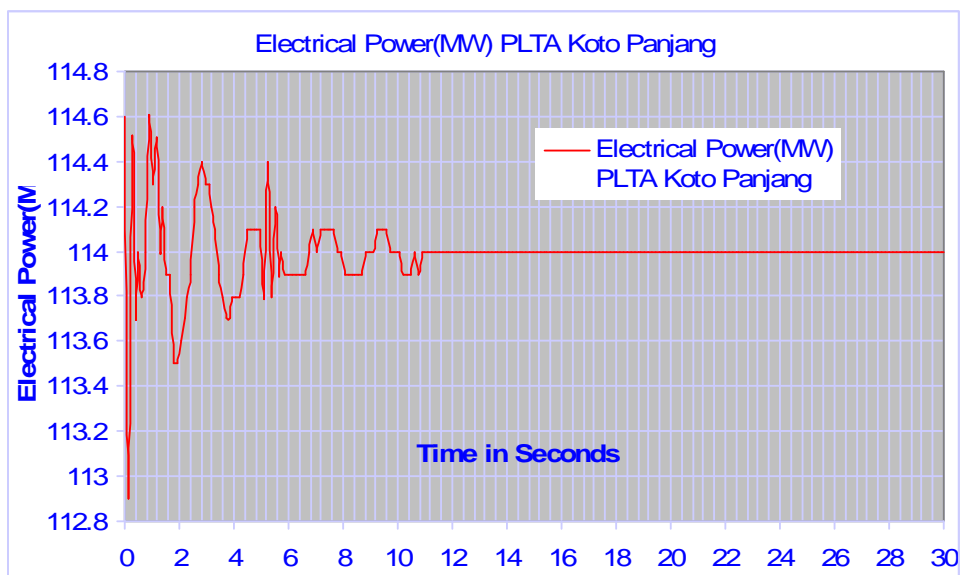


Gambar 5.5.b Tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang setelah menggunakan PSS

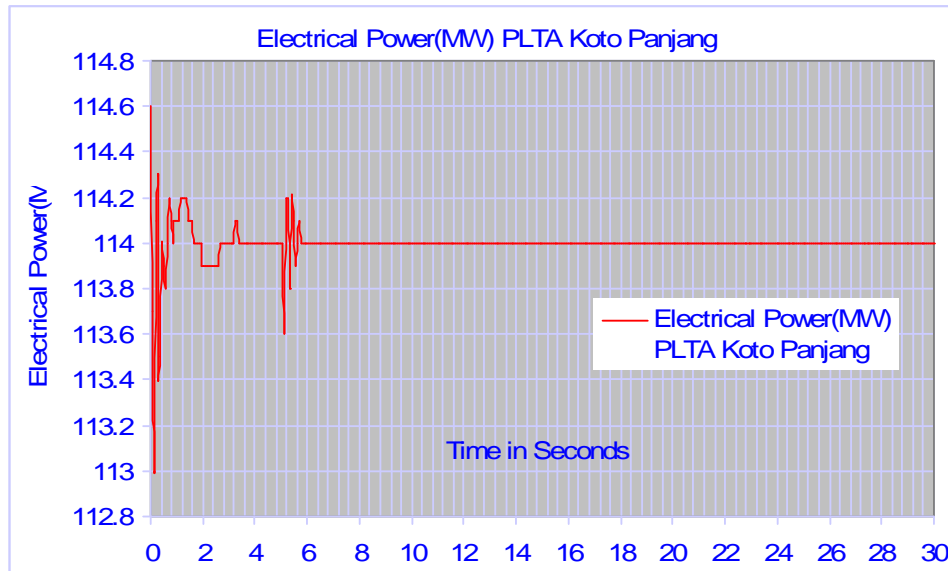
c. Tanggapan daya elektrik

Tanggapan daya elektrik untuk sistem pembangkit Koto Panjang saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.6.a dan 5.6.b.

Daya elektrik pada sistem pembangkit Koto Panjang (gambar 5.6.a) saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung tidak mengalami perubahan, daya yang diberikan adalah 200 MW dan berosilasi selama 11,126 detik. Namun setelah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* waktu osilasi mengalami perbaikan dari 11,126 detik menjadi 5,882 detik atau mengalami perbaikan selama 5,244 detik atau 47,13 % (gambar 5.6.b).



Gambar 5.6.a. Tanggapan daya elektrik pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan PSS



Gambar 5.6.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Koto Panjang
sesudah menggunakan PSS

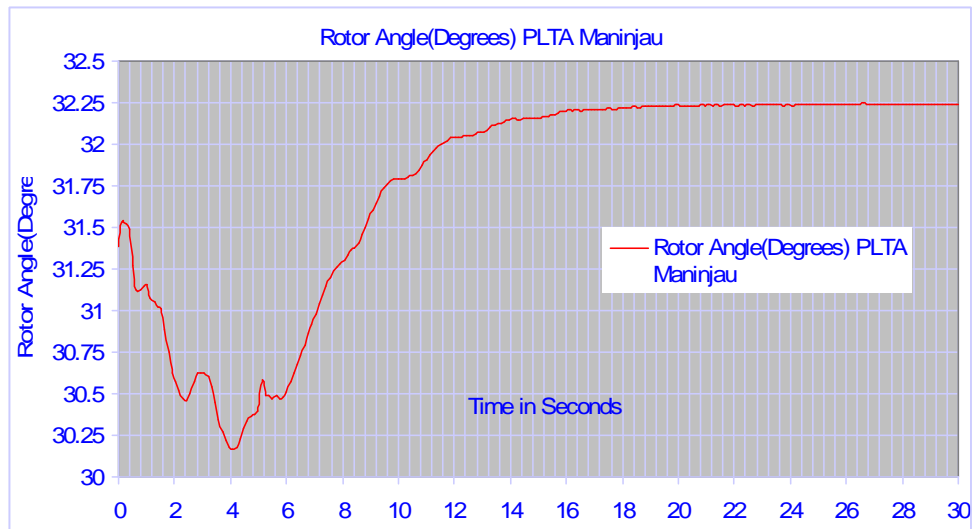
3. Tanggapan Pembangkit Maninjau

Tanggapan pembangkit Maninjau pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.7, 5.8 dan 5.9

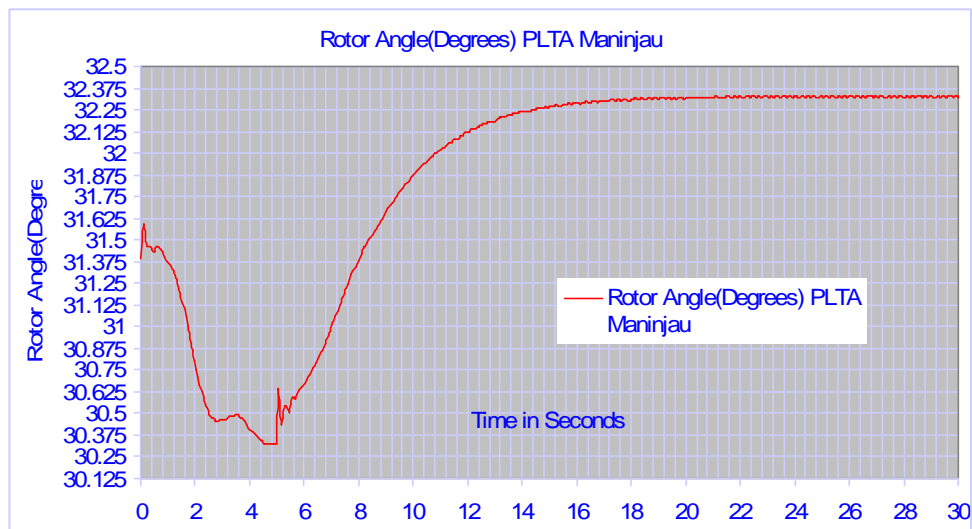
a. Tanggapan sudut rotor

Tanggapan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukkan pada gambar 5.7. dibawah ini.

Dari pengamatan gambar 5.7.a. menunjukkan bahwa pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, pembangkit Maninjau mengalami pergeseran sudut rotor dari 31.52° menjadi $32,23^{\circ}$ atau terjadi pergeseran sudut rotor sebesar 0.29° . dengan overshoot 0.14° . Lamanya osilasi sudut rotor saat terjadinya gangguan yaitu selama 18.4 detik (gambar 5.7.a) dan setelah pemasangan PSS waktu osilasi berkurang menjadi 16.88 (gambar 5.7.b), sehingga terjadi perbaikan waktu osilasi sebesar 1,52 detik.



Gambar 5.7.a Tanggapan sudut rotor pembangkit Maninjau sebelum menggunakan PSS



Gambar 5.7.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Maninjau setelah menggunakan PSS

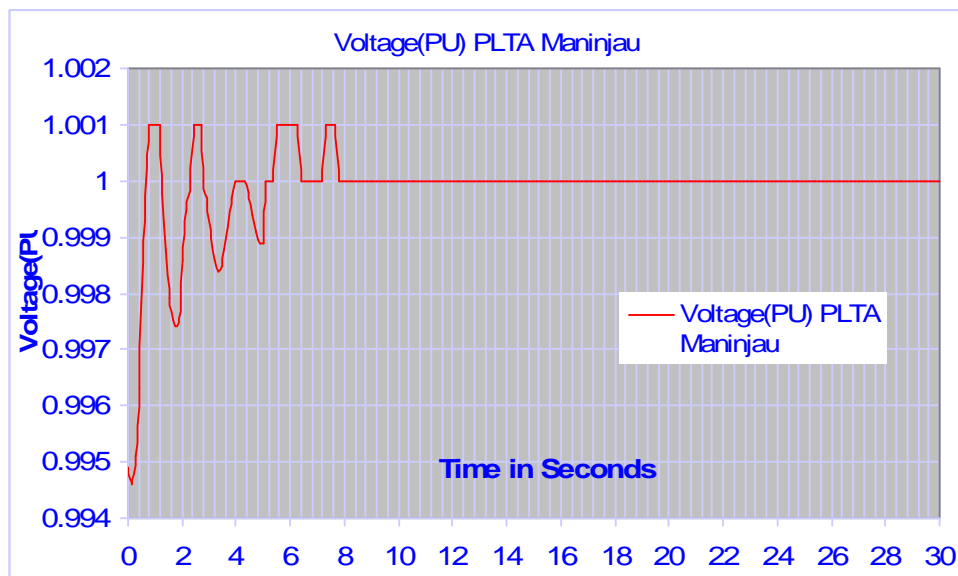
b. Tanggapan tegangan

Tanggapan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *Power System*

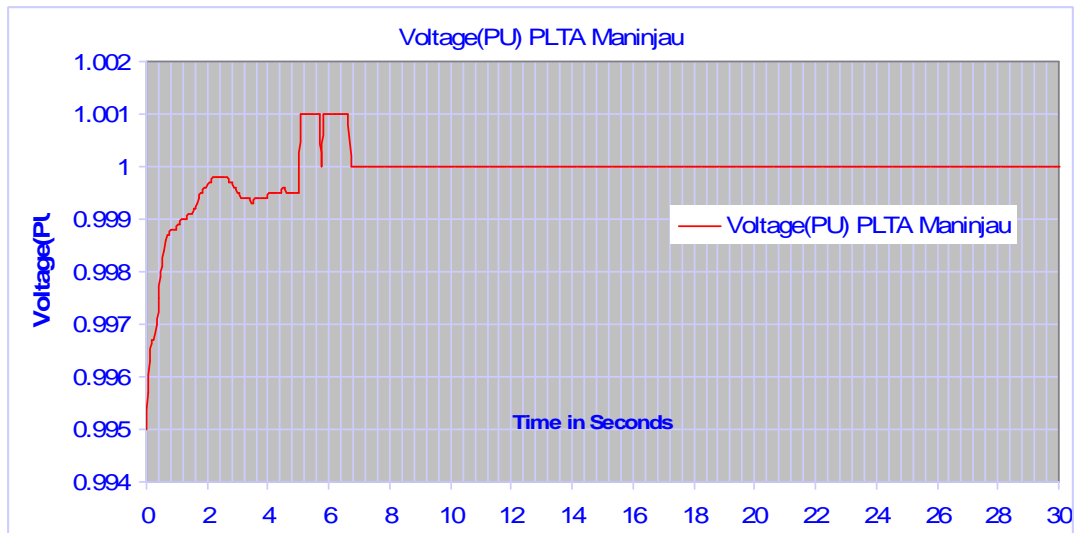
Stabilizer (PSS) ditunjukkan pada gambar 5.8.a dan 5.8.b.

Sebelum pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada gambar 5.8.a menunjukkan saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, tegangan pada pembangkit Maninjau mengalami osilasi selama 7.8 detik dengan *overshoot* 0.1051 pu. Setelah pemasangan PSS (gambar 5.8.b) menunjukkan sistem tersebut mengalami peredaman waktu osilasi dari (gambar 5.8.a) menjadi 6.4 detik (gambar 5.8.b), sehingga mengalami perbaikan sebesar 1.4 detik dan juga mengalami peredaman osilasi dari 0.0058 pu menjadi 0.0035 pu, atau mengalami perbaikan sebesar 0.0023 pu.

Ini menunjukkan pemasangan PSS dapat mempersingkat waktu osilasi dan memberikan peredaman terhadap osilasi tegangan pada pembangkit Maninjau.



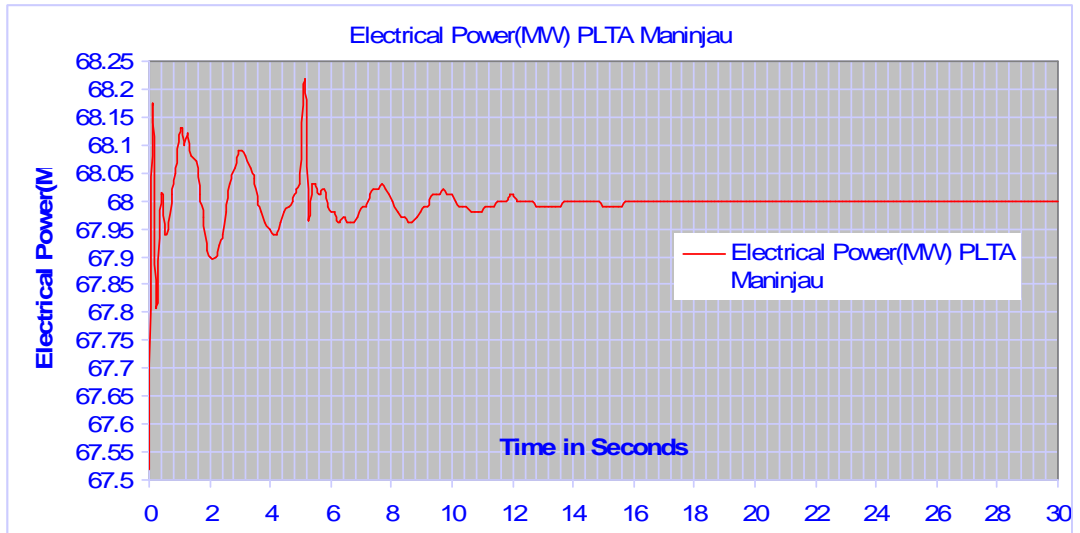
Gambar 5.8.a. Tanggapan tegangan pembangkit Maninjau sebelum menggunakan PSS



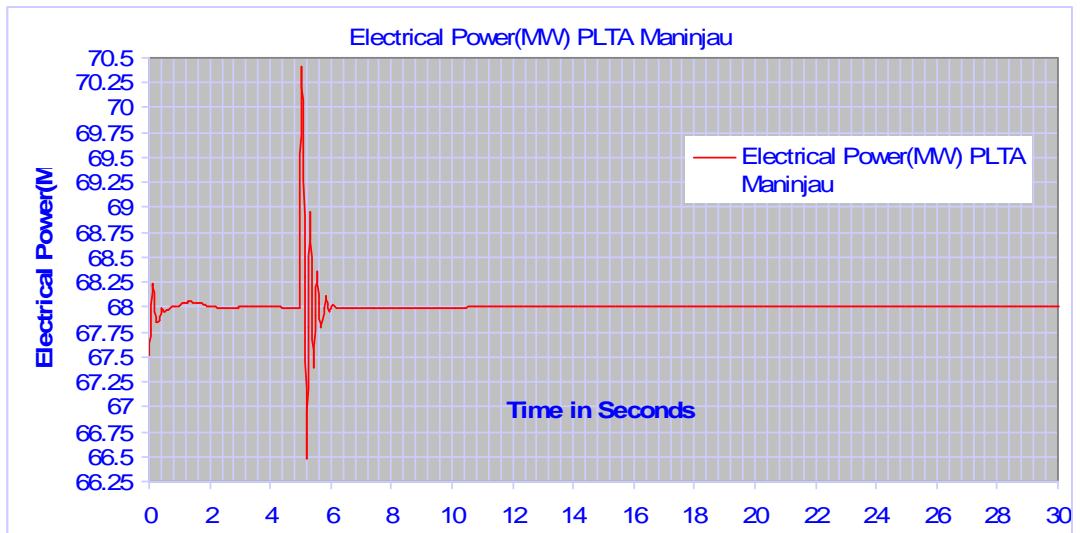
Gambar 5.8.b Tanggapan tegangan pembangkit Maninjau
sesudah menggunakan PSS

c. Tanggapan daya elektrik

Tanggapan daya elektrik untuk sistem pembangkit Maninjau pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.9.a dan 5.9.b. Daya elektrik pada sistem pembangkit Maninjau (gambar 5.9.a) saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung adalah 68 MW dan berosilasi selama 16.12 detik. Setelah pemasangan PSS waktu osilasi berkurang menjadi 6,22 (gambar 5.9.b) sehingga pembangkit maninjau mengalami perbaikan waktu osilasi sebesar 9,98 detik atau 62 %.



Gambar 5.9.a Tanggapan daya elektrik pembangkit Maninjau sebelum menggunakan PSS



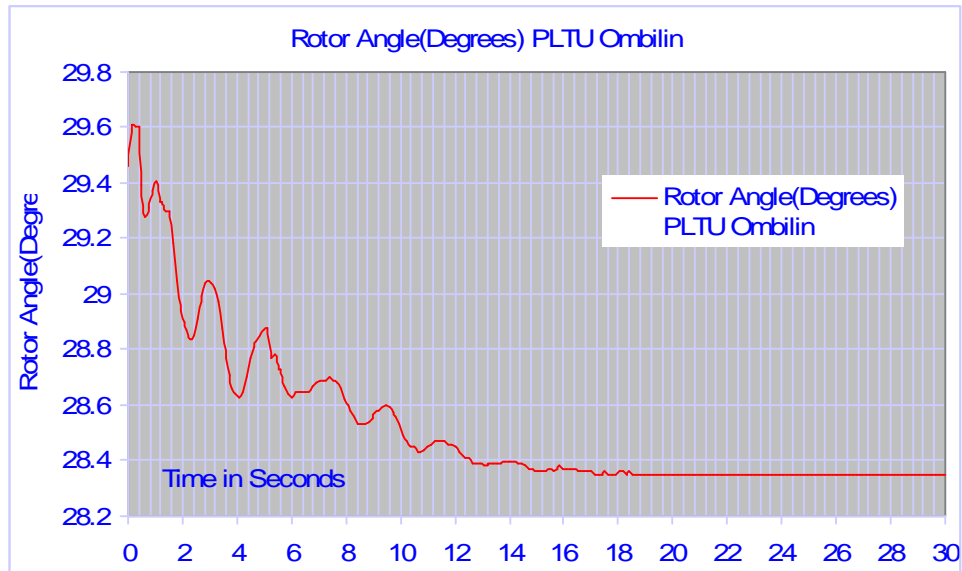
Gambar 5.9.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Maninjau sesudah menggunakan PSS

4. Tanggapan Pembangkit Ombilin

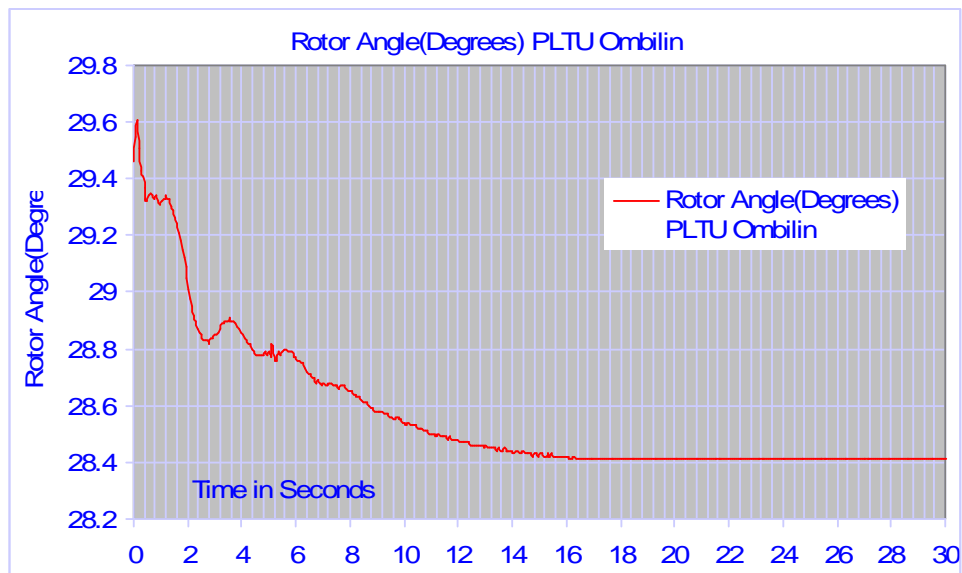
Tanggapan pembangkit Maninjau pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.10, 5.11 dan 5.12.

a. Tanggapan sudut rotor

Tanggapan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukkan pada gambar 5.10 di bawah ini.



Gambar 5.10.a Tanggapan sudut rotor pembangkit Ombilin sebelum menggunakan PSS



Gambar 5.10.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Ombilin setelah menggunakan PSS

Dari gambar 5.10.a. menunjukkan bahwa pada saat terjadinya perlepasan beban pada bus Indarung , sistem pembangkit Ombilin mengalami pergeseran

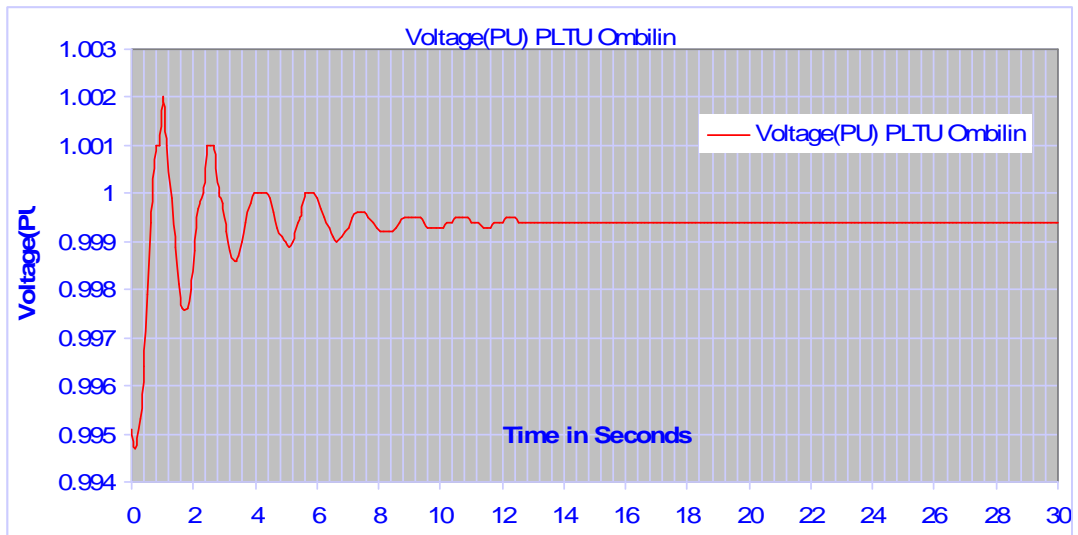
sudut rotor dari 29.6° menjadi $28,35^{\circ}$ atau terjadi penurunan sebesar 1.25° , dengan *overshoot* $0,29^{\circ}$. Osilasi sudut rotor saat terjadinya gangguan adalah selama 18,67 detik. Pembangkit tenaga listrik Ombilin setelah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada gambar 5.10.b, memberikan redaman terhadap osilasi dan lamanya waktu osilasi yang cukup baik. Dari pengamatan gambar 5.10.a dan 5.10.b *overshoot* sudut rotor dapat meredam dari $0,29^{\circ}$ (gambar 5.10.a) menjadi $0,24^{\circ}$ (gambar 5.10.b) atau mengalami perbaikan sebesar 0.05%. Dan waktu osilasi mengalami penurunan dari 18,67 detik menjadi 16,176 detik, sehingga mengalami perbaikan waktu osilasi selama 2.494 detik atau 13%..

b. Tanggapan tegangan

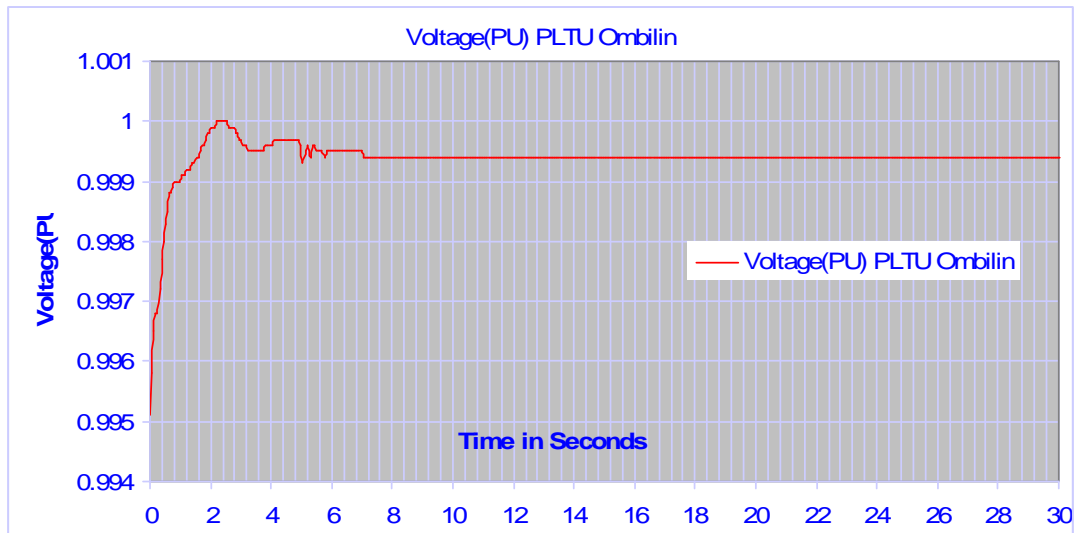
Tanggapan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* ditunjukkan pada gambar 5.11.a dan 5.11.b.

Sebelum pemasangan *Power System Stabilizer (PSS)* pada gambar 5.11.a menunjukkan saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, tegangan pada pembangkit Ombilin mengalami osilasi selama 12,66 detik dengan *overshoot* 0.0073 pu. Setelah pemasangan PSS (gambar 5.11.b) menunjukkan sistem tersebut mengalami peredaman waktu osilasi dari 12,66 detik menjadi 7,418 detik, sehingga mengalami perbaikan sebesar 5,242 detik dan juga mengalami peredaman osilasi dari 0.0073 pu menjadi 0.0046 pu, atau mengalami perbaikan sebesar 0.0027 pu.

Ini menunjukkan pemasangan PSS dapat mempersingkat waktu osilasi dan memberikan peredaman terhadap osilasi tegangan pada pembangkit Maninjau.



Gambar 5.11.a. Tanggapan tegangan pembangkit Ombilin
sebelum menggunakan PSS

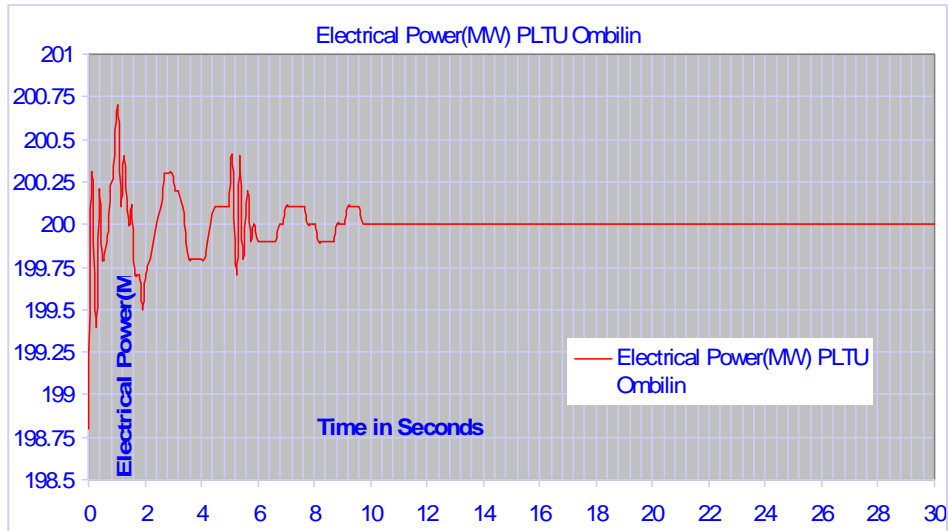


Gambar 5.11.b Tanggapan tegangan pembangkit Ombilin
sesudah menggunakan PSS

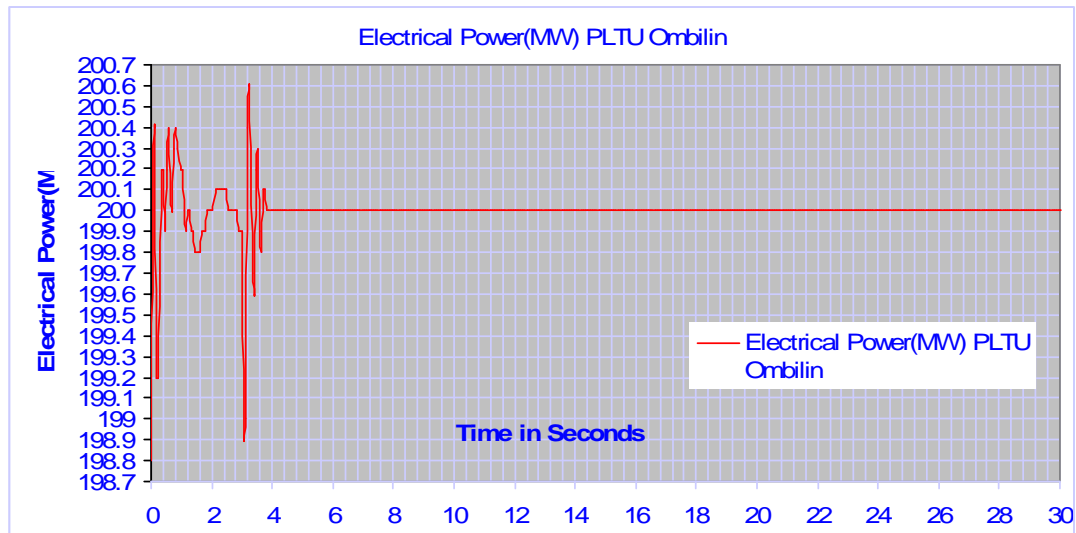
c. Tanggapan daya elektrik

Tanggapan daya elektrik untuk sistem pembangkit Maninjau pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.12.a dan 5.12.b. Daya elektrik pada sistem pembangkit Maninjau (gambar 5.12.a) saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung adalah 200 MW dan beresilasi

selama 9.846 detik. (gambar 5.12.a). Dengan pemasangan PSS waktu osilasi dapat dipersingkat menjadi 3,8 detik .



Gambar 5.12.a Tanggapan daya elektrik pembangkit Ombilin sebelum menggunakan PSS



Gambar 5.12.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Maninjau sesudah menggunakan PSS

Dari hasil pengamatan respon untuk setiap pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau, menunjukkan kinerja pembangkit-pembangkit tersebut saat ini sudah sangat baik untuk menanggapi berbagai gangguan terutama saat

pelepasan beban tiba-tiba pada bus Indarung. Namun penggunaan *Power Sistem Stabilizer (PSS)* sebagai kompensasi masih sangat memungkinkan untuk mendapat kinerja sistem yang lebih baik.

Dari hasil pembahasan menunjukkan pergeseran sudut rotor pada sistem pembangkit tenaga listrik Sumatera Barat - Riau akibat pelepasan beban pada bus Indarung berkisar antara $0 - 0,1051^{\circ}$.

Lamanya osilasi tegangan pada saat pelepasan beban tersebut berkisar antara 7.8 – 16.88 detik sebelum penggunaan PSS (table 4.1) dan setelah penggunaan PSS osilasi tegangan berkurang berkisar antara 6.4 – 8,504 detik atau adanya perbaikan sebesar 13 % - 62 %. Osilasi tegangan yang terlama terjadi pada pembangkit Singkarak sebesar 8,504 detik (sesudah menggunakan PSS). Penurunan daya elektrik sebelum dan sesudah pemakaian *Power system Stabilizer (PSS)* terjadi pada pembangkit Singkarak, sebesar 0,5 MW.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil studi stabilitas sistem tenaga untuk sistem tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau dapat disimpulkan :

1. Unjuk kerja dari setiap pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau terhadap pelepasan beban pada bus Indarung saat ini cukup baik, ditinjau dari tanggapan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik untuk setiap pembangkit saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung. Perubahan sudut rotor untuk seluruh pembangkit berkisar $0^{\circ} - 0,1051^{\circ}$, dengan lamanya waktu osilasi tegangan berkisar antara 7.8 – 16.88 detik.
2. Pemasangan pengendali *Power System Stabilizer (PSS)* sebagai kompensasi pada sistem tenaga listrik Sumatera Barat - Riau dapat memberikan kontribusi unjuk kerja sistem yang lebih baik dengan perbaikan waktu osilasi antara 13 % - 62

B. Saran - saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka hal yang dapat disarankan untuk peneliti selanjutnya

1. Kestabilan sistem dipengaruhi oleh gangguan kecil seperti perubahan beban yang dinamis atau gangguan besar seperti hubung singkat. Berkaitan dengan itu perlu adanya lanjutan untuk meninjau kembali respon dari pembangkit bila terjadinya hubung singkat pada sistem tenaga listrik Sumatera Barat - Riau.
2. Perlu adanya penelitian terhadap penggunaan *Power System Stabilizer (PSS)* terutama dalam hal penyettingan nilai-nilai time konstan pada PSS agar mendapatkan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg 1996 “ *Power Generation, Operation and Control* ,“ John Willi & Son New York.
- Anderson, P.M.. Fuad,A.A,1977 “ *Power System Control and Stability*, ” the Lowe State University Press, Ames, Iowa, U.S.A
- Kundur ,P, 1993, ” *Power System Stability and Control*” McGraw-Hill, inc, New York
- Jan Machhowski, Janusz Bialek W, James Bumby R,1997 ” *Power System Dynamic and Satability*”, John Wiley & Sons New York
- Saadat H., 1999, “ *Power System Analysis*, “ International Edition, WCB McGraw-Hill, Siungapore
- Kundur, P, Klin, G M., Rogenrs, J and Zywno, “ *Application of Power System Stabilizer for Echancement of Overal System Stability*,” IEEE *Trans*, Vol. PWRs PP 614-626, may 1989
- P.T. (persero) P.L.N Wilayah Sumatera Barat - Riau “*Data-data Pembangkitan dan Jaringan*”