



TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN MEKANISME PELEPASAN BEBAN DI PT. PUSRI AKIBAT PENAMBAHAN GENERATOR DAN PENAMBAHAN BEBAN

Baghazta Akbar Ar-Zandhy

NRP 2212100149

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Daniar Fahmi, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

TRANSIENT STABILITY ANALISYS AND LOAD SHEDDING MECHANISM AT PUSRI COMPANY DUE TO INTEGRATION NEW GENERATOR AND NEW LOAD

Baghazta Akbar Ar-Zandhy

NRP 2212100149

Advisor

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Daniar Fahmi, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pusri Akibat Penambahan Generator dan Penambahan Beban**” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2016

Baghazta Akbar A
NRP. 2212100149

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN
MEKANISME PELEPASAN BEBAN DI PT. PUSRI
AKIBAT PENAMBAHAN GENERATOR DAN
PENAMBAHAN BEBAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 1966 03 18 1990 10 1 001

Dosen Pembimbing 2



Daniar Fahmi, ST., MT.
NIP. 1989 09 25 2014 04 1 002



ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN MEKANISME PELEPASAN BEBAN DI PT. PUSRI AKIBAT PENAMBAHAN GENERATOR DAN PENAMBAHAN BEBAN

Nama : Baghazta Akbar Ar-Zandhy
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ABSTRAK

PT. Pusri Palembang adalah perusahaan yang didirikan sebagai produsen pupuk nasional yang juga bertanggung jawab dalam melaksanakan distribusi dan pemasaran pupuk bersubsidi untuk mendukung program pangan nasional. Untuk memenuhi kebutuhan produksi PT. Pusri Palembang melakukan penambahan pabrik baru. Maka untuk menjaga kontinuitas sistem kelistrikan yang ada diperlukan penambahan 1 unit pembangkit baru, pada mulanya ada 4 unit pembangkit yang beroperasi menjadi 5 unit pembangkit. Akibat penambahan pabrik baru ini, kestabilan transien pada plant belum dianalisis secara mendalam, sehingga perlu dilakukan studi stabilitas transien untuk mengetahui keandalan sistem saat terjadi gangguan transien. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis kestabilan transien akibat generator lepas, *motor starting*, dan hubung singkat kemudian akan dilakukan perancangan mekanisme *load shedding* agar sistem mampu mempertahankan kestabilannya dan kontinuitas aliran daya tetap terjaga. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saat salah satu generator *outage* pada case A dan saat generator PIB atau STG *outage* pada case B memerlukan mekanisme *load shedding*. Mekanisme *load shedding* yang dilakukan menggunakan standar frekuensi. Saat kasus hubung singkat pada bus SG-3301, SG-SB, dan STG_1 memerlukan mekanisme *load shedding*. Selain itu, kasus *motor starting* masih diperbolehkan saat 5 generator ON karena tidak memberikan efek yang signifikan pada respon tegangan, frekuensi, dan sudut rotor pada sistem

Kata Kunci: Gangguan Transien, Kestabilan Transien, Pelepasan Beban.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

TRANSIENT STABILITY ANALISYS AND LOAD SHEDDING MECHANISM AT PUSRI COMPANY DUE TO NEW GENERATOR AND NEW LOAD

Name : Baghazta Akbar Ar-Zandhy
1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2st Advisor : Daniar Fahmi, S.T., M.T.

ABSTRACT

PT. Pusri Palembang was initiated as the pioneer of urea fertilizer produce in Indonesia and also responsible in supporting national provision program. An increase of demand cause PT. Pusri Palembang to instal a new plant. Hence, in order to maintain the continuity of esbtablished electrical systems, it is necessary to instal 1 new generator units, there are 4 operated generator units and after the installation there will be 5 generator units. In the other hand because of the new plant installation, studies of the transient stability have not been deeply analyzed, therby studying transient stability is necessary to determine the reliability of the system during transient disturbance. In this final project, the analyses focused on the transient stability as a result of generator outage, motor starting, and short circuit. Then, there will also be a load shedding design. Simulation result show that one of the generator outage in case A dan generator P1B or STG outage in case B need load shedding mechanism. Load shedding mechanism are based on frequency standart. When short cicuit occurred on bus SG-3301, SG-SB, dan STG_1 need mechanism load shedding as well. Besides, motor starting cases are still allowed when 5 generator are ON, because it will not give significant effect on voltage respon, frequency, and, rotor angel at the system.

Key Words: Transient Disturbances, Transient stability, Load shedding.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN MEKANISME PELEPASAN BEBAN DI PT PUSRI AKIBAT PENAMBAHAN GENERATOR DAN PENAMBAHAN BEBAN

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi tahap sarjana pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain :

1. Segenap keluarga tercinta, kedua orang tua saya Bapak Ucok S. Radjab, SH., MH. dan Ibu Ir. Elly Ulya serta kakak tersayang Praditha Edu Ar-Rasyid, ST yang selalu memberi dukungan, semangat serta doa yang tiada henti untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Daniar Fahmi, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh rekan dan warga KP417 atas bantuan, dukungan, kebersamaan dan kerja samanya selama ini.
4. Seluruh rekan Deri, Mamed, Rifki Wir, Ubaid, Wakil, Memet, Mbah Isa, Gigih, Daju, Hafidh, Yoan, Ipat, Yesi, Nabil, Binar, Kak Ira, Diaz, Sona dan teman-teman komunitas yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama ini.
5. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, sahabat-sahabat E-52 (2012), para dosen, karyawan, serta seluruh mahasiswa atas dukungan, masukan serta kerjasamanya sepanjang masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik, saran serta koreksi yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	HALAMAN
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
1.6 Relevansi	6
BAB 2 KESTABILAN TRANSIEN	
2.1 Kestabilan Sistem.....	7
2.2 Klasifikasi Kestabilan.....	8
2.2.1 Kestabilan Frekuensi	9
2.2.2 Kestabilan Sudut Rotor.....	9
2.2.3 Kestabilan Tegangan	10
2.2.3.1 Kestabilan Tegangan Akibat Gangguan Besar	11
2.2.3.2 Kestabilan Tegangan Akibat Gangguan Kecil	11
2.2.3.3 Kestabilan Tegangan Jangka Pendek	12
2.2.3.4 Kestabilan Tegangan Jangka Panjang	12
2.3 Kestabilan Transien	12
2.3.1 Hubungan Singkat (Short Circuit)	13
2.3.2 Motor Starting	13
2.3.3 Penambahan Beban Secara Tiba-tiba	13
2.4 Pengaturan Frekuensi	15
2.4.1 Mode Droop.....	16
2.4.2 Mode Isochorus	16

2.5	Load Shedding (Pelepasan Beban).....	16
2.5.1	Pelepasan Beban Secara Manual	18
2.5.2	Pelepasan Beban Secara Otomatis	18
2.6	Standar yang Digunakan untuk Analisis Kestabilan Transien	19
2.6.1	Standar Frekuensi.....	19
2.6.2	Standar Tegangan.....	21
2.6.3	Standar Pelepasan Beban	21

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PUSRI PALEMBANG

3.1	Sistem Kelistrikan PT Pusri Palembang	25
3.2	Kapasitas Pembangkitan PT Pusri Palembang Setelah Penambahan Beban P2B dan Generator 1 x 38 MW	26
3.3	Sistem Distribusi di PT Pusri Palembang	27
3.4	Data Beban di PT PUSRI Palembang	28
3.4.1	Data Beban Eksisting di PT PUSRI Palembang.....	28
3.4.2	Data Beban Selektif.....	31
3.4.3	Motor Terbesar PT Pusri Palembang	32

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS KSTABILAN TRANSIEN PADA PT PUSRI PALEMBANG

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan	35
4.2	Studi Kasus Kestabilan Transien	35
4.3	Hasil Simulasi Kestabilan Transien	37
4.3.1	Simulasi Kestabilan Transien Generator Outage.....	37
4.3.1.1	Studi Kasus CASE A, Gen P-2 OFF: Generator P-2 Outage dari Sistem ($t=2s$).....	38
4.3.1.2	Studi Kasus CASE A, Gen P-3 OFF : Generator P-3 Outage dari Sistem ($t=2s$).....	41
4.3.1.3	Studi Kasus CASE A, Gen P-4 OFF : Generator P-4 Outage dari Sistem ($t=2s$).....	43
4.3.1.4	Studi Kasus CASE A, Gen P-1B OFF: Generator P-1B Outage dari Sistem ($t=2s$)	46
4.3.1.5	Studi Kasus CASE B, Gen P-2 OFF: Generator P-2 Outage dari Sistem ($t=2s$).....	49
4.3.1.6	Studi Kasus CASE B, Gen P-3 OFF: Generator P-3 Outage dari Sistem ($t=2s$).....	52

4.3.1.7	Studi Kasus CASE B, Gen P-4 OFF: Generator P-4 Outage dari Sistem ($t=2s$)	55
4.3.1.8	Studi Kasus CASE B, Gen P-1B OFF: Generator P-1B Outage dari Sistem ($t=2s$).....	58
4.3.1.9	Studi Kasus CASE B, Gen STG OFF : Generator STG Outage dari Sistem ($t=2s$)	61
4.3.2	Simulasi Kestabilan Transien Short Circuit.....	64
4.3.2.1	Studi Kasus SC 1: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-3301 33 kV ($t=2 s$)	65
4.3.2.2	Studi Kasus SC 2: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-SB 13,8 kV ($t=2 s$).....	68
4.3.2.3	Studi Kasus SC 3: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-61 13,8 kV ($t=2 s$)	71
4.3.2.4	Studi Kasus SC 4: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus STG_1 13,8 kV ($t=2 s$)	74
4.3.3	Simulasi Kestabilan Transien Motor Starting.....	77
4.4.3.1	Studi Kasus Motor GM-3-01-C Start	77
4.3.4	Rekapitulasi Data.....	80
4.4.3.1	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Generator Outage	80
4.4.3.1	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Short Circuit.....	83
4.4.3.1	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Motor Starting	84
4.4	Studi Kasus Kestabilan Transien, Mekanisme Load Shedding ...	84
4.5	Hasil Simulasi Kestabilan Transien, Mekanisme Load Shedding.....	85
4.5.1	Simulasi Kestabilan Transien Generator Outage	86
4.5.1.1	Studi Kasus CASE A, Gen P-2 OFF + LS: Generator P-2 Outage dari Sistem ($t=2s$) dengan Load Shedding	86
4.5.1.2	Studi Kasus CASE A, Gen P-3 OFF + LS : Generator P-3 Outage dari Sistem ($t=2s$) dengan Load Shedding	88
4.5.1.3	Studi Kasus CASE A, Gen P-4 OFF + LS: Generator P-4 Outage dari Sistem ($t=2s$)	

	dengan Load Shedding.....	91
4.5.1.4	Studi Kasus CASE A, Gen P-1B OFF + LS: Generator P-1B Outage dari Sistem ($t=2s$) dengan Load Shedding.....	94
4.5.1.5	Studi Kasus CASE B, Gen P-1B OFF + LS: Generator P-1B Outage dari Sistem ($t=2s$) dengan Load Shedding.....	97
4.5.1.6	Studi Kasus CASE B, Gen STG OFF + LS: Generator STG Outage dari Sistem ($t=2s$) dengan Load Shedding.....	100
4.5.2	Simulasi Kestabilan Transien Short Circuit, Mekanisme Load Shedding	104
4.5.2.1	Studi Kasus SC 1 + LS: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-3301 33 kV ($t=2 s$) dengan Load Shedding.....	104
4.5.2.2	Studi Kasus SC 2 + LS: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-SB 13,8 kV ($t=2 s$) dengan Load Shedding.....	107
4.5.2.3	Studi Kasus SC 4 + LS: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus STG_1 13,8 kV ($t=2 s$) dengan Load Shedding.....	110
4.5.3	Rekapitulasi Data, Mekanisme Load Shedding.....	113
4.5.3.1	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Generator <i>Outage</i> , Mekanisme Load Shedding	113
4.5.3.2	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan <i>Short Circuit</i> , Mekanisme Load Shedding	115

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	117
75.2	Saran	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Diagram Alir Metodologi Pelaksanaan Studi	5
Gambar 2. 1	Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga	8
Gambar 2. 2	Respon Sudut Rotor terhadap Gangguan Transien	14
Gambar 2. 3	Blok Diagram Konsep Dasar Speed Governing	15
Gambar 2. 4	Perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban.....	17
Gambar 2. 5	Standar Frekuensi untuk Steam Turbin Generator (IEEE Std C37.106-2003).....	19
Gambar 2. 6	Definisi Voltage Magnitude Event berdasarkan Standar IEEE 1195-1995	21
Gambar 3. 1	Sistem Kelistrikan Sebelum Penambahan Beban Pusri 2B dan Generator 1x38 MW.....	25
Gambar 3. 2	Sistem Kelistrikan Baru PT Pusri Palembang.....	26
Gambar 3. 3	Karakteristik Motor	33
Gambar 4. 1	Respon Frekuensi Saat Generator P-2 Outage dari Sistem	38
Gambar 4. 2	Respon Tegangan saat Generator P-2 Outage dari Sistem	39
Gambar 4. 3	Respon Sudut Rotor saat Generator P-2 Outage dari Sistem	40
Gambar 4. 4	Respon Frekuensi Saat Generator P-3 Outage dari Sistem	41
Gambar 4. 5	Respon Tegangan saat Generator P-3 Outage dari Sistem	42
Gambar 4. 6	Respon Sudut Rotor saat Generator P-3 Outage dari Sistem	43
Gambar 4. 7	Respon Frekuensi Saat Generator P-4 Outage dari Sistem	44
Gambar 4. 8	Respon Tegangan Saat Generator P-4 Outage dari Sistem	45
Gambar 4. 9	Respon Sudut Rotor Saat Generator P-4 Outage dari Sistem	46
Gambar 4. 10	Respon Frekuensi Saat Generator P-1B Outage dari Sistem	47
Gambar 4. 11	Respon Tegangan saat Generator P-1B Outage dari Sistem	48

Gambar 4. 12	Respon Sudut Rotor Saat Generator P-1B Outage dari Sistem.....	49
Gambar 4. 13	Respon Frekuensi Saat Generator P-2 Outage dari Sistem.....	50
Gambar 4. 14	Respon Tegangan Saat Generator P-2 Outage dari Sistem.....	51
Gambar 4. 15	Respon Sudut Rotor Saat Generator P-2 Outage dari Sistem.....	52
Gambar 4. 16	Respon Frekuensi Saat Generator P-3 Outage dari Sistem.....	53
Gambar 4. 17	Respon Tegangan Saat Generator P-3 Outage dari Sistem.....	54
Gambar 4. 18	Respon Tegangan Saat Generator P-3 Outage dari Sistem.....	55
Gambar 4. 19	Respon Frekuensi Saat Generator P-4 Outage dari Sistem.....	56
Gambar 4. 20	Respon Tegangan Saat Generator P-4 Outage dari Sistem.....	57
Gambar 4. 21	Respon Tegangan Saat Generator P-4 Outage dari Sistem.....	58
Gambar 4. 22	Respon Frekuensi Saat Generator P-1B Outage dari Sistem.....	59
Gambar 4. 23	Respon Tegangan Saat Generator P-1B Outage dari Sistem.....	60
Gambar 4. 24	Respon Tegangan Saat Generator P-1B Outage dari Sistem.....	61
Gambar 4. 25	Respon Frekuensi Saat Generator STG Outage dari Sistem.....	62
Gambar 4. 26	Respon Tegangan Saat Generator STG Outage dari Sistem.....	63
Gambar 4. 27	Respon Sudut Rotor Saat Generator STG Outage dari Sistem.....	64
Gambar 4. 28	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301	65
Gambar 4. 29	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301	66
Gambar 4. 30	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301	67

Gambar 4. 31	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB	68
Gambar 4. 32	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB	69
Gambar 4. 33	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB	70
Gambar 4. 34	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-61	71
Gambar 4. 35	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-61	72
Gambar 4. 36	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-61	73
Gambar 4. 37	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1	74
Gambar 4. 38	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1	75
Gambar 4. 39	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1	76
Gambar 4. 40	Respon Frekuensi saat Starting Motor 101-J1'	77
Gambar 4. 41	Respon Tegangan saat Starting Motor 101-J1'	78
Gambar 4. 42	Respon Sudut Rotor saat Starting Motor 101-J1'	79
Gambar 4. 43	Respon Frekuensi Saat Generator P-2 Outage dari Sistem dengan mekanisme Load Shedding	86
Gambar 4. 44	Respon Tegangan saat Generator P-2 Outage dari Sistem dengan mekanisme Load Shedding	87
Gambar 4. 45	Respon Sudut Rotor saat Generator P-2 Outage dari Sistem dengan mekanisme Load Shedding	88
Gambar 4. 46	Respon Frekuensi Saat Generator P-3 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	89
Gambar 4. 47	Respon Tegangan saat Generator P-3 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	90
Gambar 4. 48	Respon Sudut Rotor saat Generator P-3 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	91
Gambar 4. 49	Respon Frekuensi Saat Generator P-4 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	92
Gambar 4. 50	Respon Tegangan saat Generator P-4 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	93
Gambar 4. 51	Respon Sudut Rotor Generator P-4 Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	94

Gambar 4. 52	Respon Frekuensi Saat Generator P-1B Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	95
Gambar 4. 53	Respon Tegangan saat Generator P-1B Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	96
Gambar 4. 54	Respon Sudut Rotor Generator P-1B Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding.....	97
Gambar 4. 55	Respon Frekuensi Saat Generator P1B Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	98
Gambar 4. 56	Respon Tegangan Saat Generator P-1B dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding.....	99
Gambar 4. 57	Respon Sudut Rotor Saat Generator P-1B Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding.....	100
Gambar 4. 58	Respon Frekuensi Saat Generator STG Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	101
Gambar 4. 59	Respon Tegangan Saat Generator STG Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	102
Gambar 4. 60	Respon Sudut Rotor Saat Generator STG Outage dari Sistem dengan Mekanisme Load Shedding	103
Gambar 4. 61	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301 dengan Mekanisme Load Shedding.....	104
Gambar 4. 62	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301 dengan Mekanisme Load Shedding.....	105
Gambar 4. 63	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301 dengan Mekanisme Load Shedding.....	106
Gambar 4. 64	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB dengan Mekanisme Load Shedding.....	107
Gambar 4. 65	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB dengan Mekanisme Load Shedding.....	108
Gambar 4. 66	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB dengan Mekanisme Load Shedding.....	109
Gambar 4. 67	Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan Mekanisme Load Shedding.....	110

Gambar 4. 68	Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan Mekanisme Load Shedding	111
Gambar 4. 69	Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan Mekanisme Load Shedding	112

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah.....	22
Tabel 2. 2	Skema Pelepasan Beban Enam Langkah.....	22
Tabel 2. 3	Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah Sistem 60 Hz dan 50 Hz	23
Tabel 3. 1	Data Kapasitas Pembangkit di PT PUSRI Palembang	26
Tabel 3. 2	Total Pembangkitan , Pembebanan, dan Demand di PT Pusri Palembang.....	27
Tabel 3. 3	Data Bus Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang	27
Tabel 3. 4	Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang	28
Tabel 3. 5	Data Tie Transformer Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang	28
Tabel 3. 6	Data Beban Eksisting di PT PUSRI Palembang.....	28
Tabel 3. 7	Data Beban Selektif.....	31
Tabel 3. 8	Data Spesifikasi Motor 101-J1'	32
Tabel 4. 1	Studi Kasus Kestabilan Transien.....	36
Tabel 4. 2	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Generator <i>Outage</i> ...	80
Tabel 4. 3	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan <i>Short Circuit</i>	83
Tabel 4. 4	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Motor <i>Starting</i>	84
Tabel 4. 5	Studi Kasus Kestabilan Transien, Mekanisme Load Shedding.....	85
Tabel 4. 6	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Generator <i>Outage</i> , Mekanisme Load Shedding	113
Tabel 4. 7	Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan <i>Short Circuit</i> , Mekanisme Load Shedding	115

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan sistem tenaga listrik, masalah stabilitas pada sistem tenaga listrik menjadi hal yang utama untuk menjamin kontinuitas dan keandalan operasi dari suatu sistem tenaga listrik. Perkembangan sistem tenaga listrik baik pada beban maupun generator akan secara otomatis menimbulkan masalah-masalah baru yang menyangkut tentang masalah kestabilan sistem. Dalam suatu sistem atau *plant* yang besar, lebih dari dua generator yang bekerja secara bersamaan, kerugian besar mungkin dapat terjadi jika kontinuitas daya tidak stabil [1]. Suatu sistem dikatakan stabil ketika terdapat keseimbangan antara daya mekanik pada penggerak utama generator (*prime mover*) dengan daya output listrik. Daya output listrik sangat dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan beban dimana saat hal tersebut terjadi maka *prime mover* harus mampu menyesuaikan masukan daya input mekanik yang sesuai. Apabila pada saat yang sama *prime mover* tidak mampu menyesuaikan dengan kondisi beban, hal ini dapat mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Dalam keadaan setimbang maka generator berputar dengan kecepatan sinkron. Berdasarkan paper IEEE *Transactions on Power Systems* berjudul *Definition and Classification of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga, yaitu kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan [2].

Besar dari daya elektrik ini terus berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan. Jika daya mekanik pada poros penggerak awal tidak dengan segera menyesuaikan dengan besarnya beban listrik maka frekuensi dan tegangan akan bergeser dari posisi normal. Hal tersebut akan terjadi saat sistem mengalami gangguan, seperti *generator outage*, *motor starting*, dan gangguan hubung singkat. Jika gangguan yang terjadi bernilai besar dan terjadi secara tiba-tiba dan dalam waktu cepat maka masalah kestabilan transien dalam suatu sistem kelistrikan harus diperhatikan [3]. Jika gangguan tidak dihilangkan dalam kurung waktu tertentu, maka hal ini akan menyebabkan generator kehilangan sinkronisasi dengan sistem [4]. Batasan maksimal waktu tersebut tergantung pada *plant* yang digunakan, tidak ada standarisasi secara umum.

Jadi dapat disimpulkan bahwa parameter utama dalam kestabilan sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut [4]:

1. Ukuran dari gangguan.
2. Rentang waktu saat gangguan berlangsung.
3. Parameter sistem yang paling berpengaruh.
4. Pemodelan yang tepat dan analisis gangguan yang spesifik.

Pada kasus tertentu dibutuhkan suatu rancangan dari mekanisme pelepasan beban tertentu saat terjadi gangguan yang berkaitan dengan kestabilan transien. Hal ini bertujuan untuk membuat sistem kembali stabil dan gangguan-gangguan tersebut tidak merusak peralatan-peralatan yang ada di sistem.

Gangguan transien sangat mempengaruhi stabilitas dari suatu sistem kelistrikan pada industri-industri besar sehingga perlu dianalisis lebih lanjut. Setelah dilakukan penambahan generator dan penambahan beban, PT. Pusri Palembang belum melakukan studi transien yang lebih mendalam. Sehingga dibutuhkan studi stabilitas transien untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien. Berdasarkan paper referensi *Definition and Classification of Power System Stability*, maka pada tugas akhir ini dilakukan analisis yang meliputi kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan [2]. Sedangkan perubahan yang akan terjadi pada sistem meliputi generator lepas, motor starting, dan hubung singkat. Pada tugas akhir ini juga akan dianalisis mekanisme pelepasan beban untuk mengatasi gangguan transien yang terjadi.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pola operasi sistem kelistrikan di PT. Pusri Palembang setelah penambahan beban dan generator?
2. Bagaimana respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor ketika terjadi gangguan?
3. Bagaimana cara merancang pola mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) yang handal di PT. Pusri Palembang?

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana pola operasi sistem kelistrikan di PT. Pusri setelah penambahan beban dan generator baru.

2. Melakukan simulasi dan analisa transien respon frekuensi, tegangan, serta respon sudut rotor.
3. Mendapatkan pola mekanisme pelepasan beban (*Load shedding*) yang handal agar sistem kelistrikan dapat mempertahankan kestabilannya pada saat terjadi gangguan.

1.4 Metodologi

Metode Penelitian yang digunakan pada tugas akhir terdiri dari studi literature, pengumpulan data, permodelan sistem, simulasi dan analisis power flow, Simulasi, analisis Kestabilan Transien, dan evaluasi *load shedding existing*, dan kesimpulan (Gambar 1.1). Penjelasan masing-masing metode adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Mengumpulkan buku serta referensi yang berhubungan dengan kestabilan transien.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data-data generator dan pembebanan baru dari sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang, seperti *single line diagram*, spesifikasi generator (governor dan eksiter), rating kabel, transformator, motor listrik, bus, dan pola operasinya.
3. Permodelan Sistem
Memodelkan sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang yang telah terintegrasi dengan Generator dan beban baru. Permodelan ini dilakukan agar dapat melakukan analisis *Power Flow* dan *Transient Stability*.
4. Simulasi dan Analisis *Power Flow*
Simulasi yang dilakukan pertama kali adalah simulasi aliran daya (*Power Flow*). Dari simulasi ini akan didapatkan profil tegangan tiap bus dan aliran daya pada tiap tiap saluran yang kemudian akan dijadikan acuan untuk analisis kestabilan transien.
5. Simulasi, analisis Kestabilan Transien, dan evaluasi *load shedding existing*
Dari simulasi sistem selanjutnya akan didapatkan hasil yang akan dianalisis. Gangguan transien yang disimulasikan akan

disamakan dengan Studi transien yang telah dilakukan sebelumnya. Dari hasil simulasi akan dapat terlihat mekanisme *load shedding* yang sebelumnya masih dapat atau tidak untuk menangani gangguan transien yang terjadi ketika telah ketambahan generator dan beban baru. Jika masih, maka mekanisme *load shedding* akan tetap digunakan. Jika tidak, maka akan direncanakan mekanisme *load shedding* yang lebih handal sehingga sistem dapat kembali stabil saat terjadi gangguan transien.

6. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan tentang kestabilan sistem akibat gangguan transien yang terjadi di PT. Pusri Palembang serta memberikan rekomendasi untuk mengatasi gangguan yang terjadi agar sistem dapat mempertahankan kestabilannya.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima bab dengan uraian sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab II : Dasar Teori

Bab ini secara umum membahas teori penunjang kestabilan transien dan juga pelepasan beban.

Bab III : Sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang

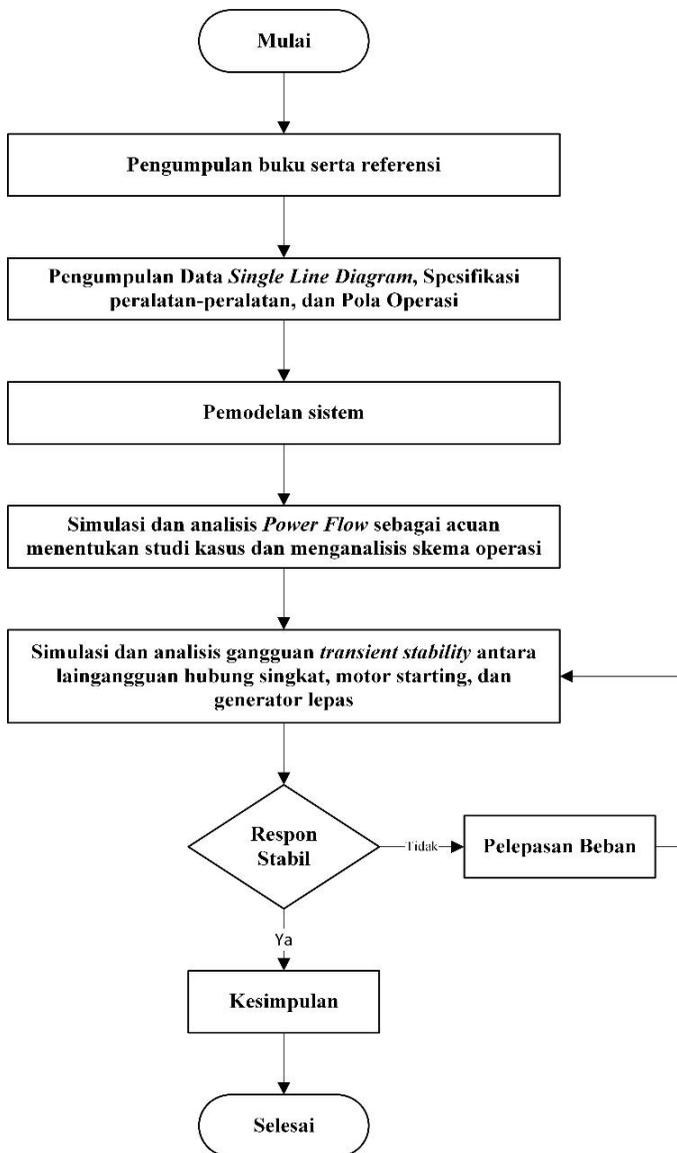
PT. Pusri Palembang setelah penambahan beban dan generator dan Setup Simulasi. Bab ini membahas profil kelistrikan, serta pembebanan pada PT. Pusri Palembang.

Bab IV : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas tentang hasil simulasi yang dilakukan, meliputi generator lepas, hubung singkat, motor *starting* yang di analisa pada generator dan bus, *evaluasi load shedding* eksisting dan juga desain *load shedding* yang baru.

Bab V : Kesimpulan

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.



Gambar 1. 1 Diagram Alir Metodologi Pelaksanaan Studi

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai acuan dasar pada saat mengoperasikan sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang yang baru agar sistem berjalan aman dan stabil.
2. Digunakan sebagai acuan dalam melakukan mekanisme *load shedding* terhadap sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang yang baru.
3. Dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya tentang stabilitas transien pada sistem kelistrikan di industri.

BAB 2

KESTABILAN TRANSIEN

2.1 Kestabilan Sistem

Sistem tenaga listrik yang kompleks memiliki banyak beban-beban dinamis yang besar daya yang diserapnya sangat variasi dalam rentang waktu tertentu, dengan adanya perubahan ini pasokan daya yang disalurkan oleh generator harus sesuai dengan kebutuhan bebannya. Apabila sistem mengalami kelebihan daya elektrik maka akan terjadi perlambatan pada rotor generator, hal ini disebabkan semakin terbebannya generator. Namun kelebihan daya mekanik akan terjadi percepatan rotor generator, hal ini disebabkan semakin ringan beban yang ditanggung generator. Kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan sinkronnya pada saat dan sesudah terjadi gangguan. Definisi ini berlaku juga untuk sistem yang beroperasi dengan menginterkoneksi beberapa generator (*multimachine*) [3]. Sistem dikatakan stabil ketika adanya keseimbangan antara daya mekanik pada prime mover dengan daya elektriks yang disalurkan ke beban. Apabila kondisi sistem yang tidak stabil tidak dipulihkan dengan segera, maka percepatan dan perlambatan putaran motor akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem. Maka dibutuhkan analisis kestabilan agar generator yang terganggu tidak lepas dari sistem dan menyebabkan kerusakan sistem menjadi semakin meluas.

Ketika kondisi sistem tidak sinkron perlu dilakukan usaha untuk mengembalikan sistem menjadi sinkron setelah terjadi gangguan. Usaha inilah yang disebut juga sebagai periode transien. Karakteristik utama dalam stabilitas ini adalah bagaimana mesin-mesin mempertahankan sinkronisasi pada saat akhir periode transien. Jika respon sistem mengalami osilasi saat terjadi gangguan dan kemudian dapat teredam dengan sendirinya, maka sistem dapat dikatakan stabil. Jika osilasi terjadi secara terus menerus hingga periode yang lama maka sistem dikatakan tidak stabil.

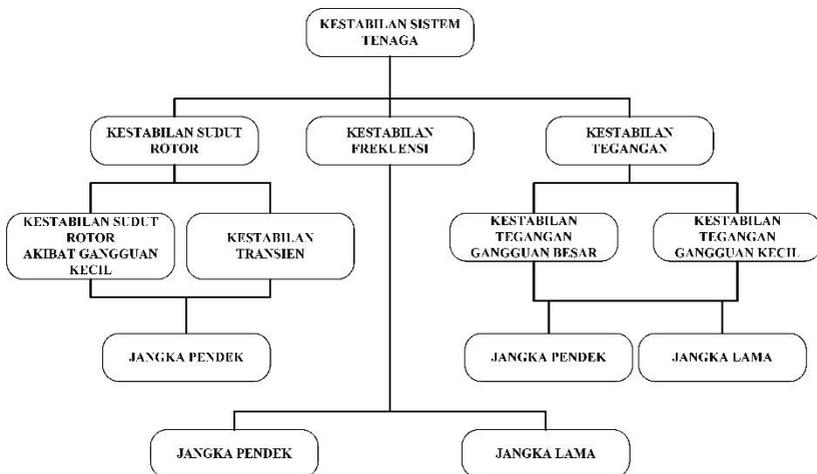
Kestabilan dalam sistem tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh gangguan, sedangkan klasifikasi gangguan dibagi menjadi 2 macam, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil berupa

perubahan beban yang berlangsung terus menerus, sedangkan gangguan besar seperti lepasnya generator, terjadinya hubung singkat.

2.2 Klasifikasi Kestabilan

Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan suatu sistem tenaga listrik, maka dibutuhkan suatu pengelompokan sistem tenaga listrik guna mempermudah analisa kestabilan. Berdasarkan Paper IEEE *definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu [2] :

1. Kestabilan sudut rotor
2. Kestabilan frekuensi
3. Kestabilan tegangan



Gambar 2. 1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga

Gambar 2.1 diatas menunjukkan bahwa kestabilan sudut rotor, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan secara umum dapat dibagi menjadi dua kateori yaitu jangka panjang dan jangka pendek. Kestabilan sudut rotor dapat disebabkan akibat gangguan kecil dan kestabilan transien yang terjadi pada sistem. Kestabilan sudut rotor termasuk dalam kategori jangka pendek. Sedangkan kestabilan frekuensi dan kestabilan tegangan terbagi dalam dua kategori yaitu jangka panjang dan jangka pendek. Kestabilan tegangan dapat disebabkan oleh gangguan kecil

maupun gangguan besar. Kategori jangka panjang dan jangka pendek dilihat dari lama terjadinya gangguan yang dapat mempengaruhi kestabilan suatu sistem tenaga listrik.

2.2.1 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan dari sistem untuk mempertahankan kestabilan frekuensi akibat gangguan pada sistem yang mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban. Pada umumnya masalah kestabilan frekuensi dikaitkan dengan ketidakmampuan dari respons peralatan, koordinasi yang buruk pada peralatan kontrol dan peralatan proteksi, atau kurangnya daya cadangan pembangkitan.

Selama terjadinya penyimpangan frekuensi, besarnya tegangan mungkin dapat berubah dengan signifikan, terutama untuk kondisi *islanding* yang menggunakan *underfrequency load shedding* untuk melepas bebannya. Perubahan nilai tegangan yang mungkin persentasenya lebih besar dari perubahan frekuensi dapat mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban.

Equilibrium point (titik keseimbangan) antara suplai daya sistem dan beban harus dipertahankan untuk menjaga sistem dari *generator outage*

Klasifikasi kestabilan frekuensi diklasifikasikan menjadi dua, yaitu jangka panjang dan jangka pendek. Contoh fenomena jangka pendek untuk kestabilan frekuensi adalah pada pembentukan *undergenerated island* dengan pelepasan beban *underfrequency* yang tidak mencukupi, sehingga frekuensi menurun secara tiba-tiba dan menyebabkan sistem mati total dalam durasi beberapa detik. Sedangkan kestabilan frekuensi jangka panjang biasanya disebabkan oleh kontrol *governor* tidak bekerja ketika terdapat gangguan. Rentang waktu fenomena jangka panjang yaitu puluhan detik hingga beberapa menit.

2.2.2 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron setelah terjadi gangguan. Kestabilan sudut rotor bergantung pada kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan mekanik pada mesin-mesin tersebut. Ketidakstabilan mengakibatkan peningkatan kecepatan

sudut yang berubah-ubah pada generator, yang akan menyebabkan hilangnya sinkronisasi antar generator. Hal ini terjadi karena daya output generator yang berubah sesuai dengan berubahnya rotor. Kestabilan sudut rotor pada gangguan besar merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi, salah satu contohnya adalah seperti hubungan singkat pada saluran transmisi.

Pada saat sistem dalam kondisi steady state terdapat kesetimbangan antara torsi elektrik dan torsi mekanik dari masing-masing generator dengan kecepatan konstan. Jika sistem mengalami gangguan, titik kesetimbangan ini akan berubah dan mengakibatkan percepatan atau perlambatan sudut rotor. Ketika salah satu generator berputar lebih cepat dari generator yang lain, posisi sudut rotor relatif terhadap generator yang lebih lambat akan meningkat. Perbedaan sudut yang dihasilkan antara mesin yang lebih lambat dengan mesin yang lebih cepat ini bergantung pada hubungan daya dan sudut rotor. Kestabilan sudut rotor secara umum dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

- a) Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil
- b) Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar atau kestabilan transien

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kesinkronan akibat gangguan kecil. Studi kestabilan ini mempunyai kurun waktu 10-20 detik setelah gangguan dan tergantung pada operasi awal sistem. Ketidakstabilan ini terjadi akibat dua hal yang penting yaitu kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi *damping*.

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron akibat gangguan besar seperti gangguan hubung singkat. Respon sistem akibat gangguan besar ini melibatkan besarnya penyimpangan sudut rotor generator dan dipengaruhi juga oleh ketidaklinearan hubungan sudut daya.

Kestabilan transien bergantung pada kondisi inisial dari sistem dan juga bergantung pada besarnya gangguan yang terjadi. Untuk kestabilan transien biasanya diamati dalam kurun waktu 3-5 detik setelah gangguan, atau juga bisa 10-20 detik setelah gangguan jika sistemnya sangat besar.

2.2.3 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan tegangan pada semua bus dari

sistem setelah mengalami gangguan. Kestabilan tegangan bergantung pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kesetimbangan antara *supply* daya dari pembangkit dan jumlah pembebanannya. Gangguan yang biasanya terjadi adalah lepasnya beban secara tiba-tiba ataupun hilangnya sinkron dari salah satu pembangkit sehingga tegangan menjadi turun secara drastis. Kestabilan tegangan menyangkut dengan gangguan besar dan gangguan kecil dalam jangka waktu pendek maupun panjang. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi adalah terjadinya peningkatan atau jatuhnya nilai tegangan pada beberapa bus pada sistem. Faktor utama yang menjadi penyebab ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan dari sistem untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif beban.

Penurunan tegangan bus dapat juga dihubungkan dengan ketidakstabilan sudut rotor. Contohnya, ketika terjadi *loss of synchronism* di antara dua grup mesin akan mengakibatkan tegangan yang sangat rendah di tengah saluran sistem.

Kestabilan tegangan dikelompokkan menjadi dua macam, berdasarkan gangguannya:

1. Kestabilan tegangan akibat gangguan besar
2. Kestabilan tegangan akibat gangguan kecil

2.2.3.1 Kestabilan Tegangan Akibat Gangguan Besar

Kemampuan dari sistem tenaga untuk menjaga tegangan *steady* setelah mengalami gangguan besar seperti *generator outage* atau hilangnya pembangkitan dan *short circuit*. Penentuannya dengan pengujian pada sistem tenaga selama periode waktu tertentu untuk mengamati interaksi dan kinerja peralatan *tap changer* trafo, dan pengaman sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan.

2.2.3.2 Kestabilan Tegangan Akibat Gangguan Kecil

Kemampuan sistem tenaga untuk menjaga kondisi tegangan *steady* ketika mengalami gangguan kecil seperti perubahan pada beban. Konsep ini berguna dalam penentuan bagaimana tegangan sistem akan merespon perubahan-perubahan kecil pada sistem kelistrikan. Kestabilan tegangan gangguan kecil digunakan sebagai evaluasi tegangan sistem merespon perubahan kecil beban listrik.

2.2.3.3 Kestabilan Tegangan Jangka Pendek

Gangguan kestabilan tegangan jangka pendek mengakibatkan kedip tegangan (*voltage sags*) dan kenaikan tegangan (*swells*) [4].

1. Kedip Tegangan (*Voltage Sag*)
Kedip tegangan merupakan fenomena penurunan *magnitude* tegangan efektif terhadap harga nominalnya selama periode antara 0,5 cycle hingga 1 menit.
2. Kenaikan Tegangan (*Swells*)
Kenaikan tegangan merupakan fenomena peningkatan *magnitude* tegangan efektif terhadap harga nominalnya dengan durasi antara 0,5 cycle hingga 1 menit.

2.2.3.4 Kestabilan Tegangan Jangka Panjang

Gangguan kestabilan tegangan jangka panjang mengakibatkan tegangan lebih (*overvoltage*) dan tegangan kurang (*undervoltage*).

1. Tegangan Lebih (*Overvoltage*)
Overvoltage merupakan peningkatan nilai efektif tegangan hingga melebihi 110 persen dari tegangan nominal ketika melebihi satu menit.
2. Tegangan Kurang (*Undervoltage*)
Undervoltage merupakan penurunan nilai efektif tegangan hingga melebihi 90 persen dari tegangan nominal ketika melebihi satu menit.

2.3 Kestabilan Transien

Kestabilan transien adalah kemampuan sistem tenaga listrik dalam mempertahankan kondisi sinkronisasi ketika sistem mengalami gangguan transien, yaitu gangguan besar yang bersifat tiba-tiba selama periode satu ayunan pertama [5]. Kestabilan transien terjadi ketika tegangan otomatis dan pengatur frekuensi belum bekerja. Pengklasifikasian kestabilan dilakukan secara sistematis dan berdasarkan pada beberapapertimbangan, yaitu:

- a) Ukuran dari gangguan
- b) Pemodelan yang tepat dan analisis gangguan yang spesifik
- c) Rentang waktu saat gangguan berlangsung
- d) Parameter sistem yang paling berpengaruh

Transient Stability Assessment atau studi tentang kestabilan transien harus dilakukan karena suatu sistem dapat dikatakan stabil pada kestabilan *steady state*, namun belum tentu stabil pada kestabilan

transien, sehingga studi ini perlu dilakukan guna untuk mengetahui apakah sistem dapat bertahan saat gangguan transien terjadi. Gangguan kestabilan transien dapat terjadi karena beberapa faktor, yaitu :

- a) Beban lebih akibat lepasnya satu generator dari sistem
- b) Hubungan singkat (short circuit)
- c) Starting pada motor
- d) Pelepasan beban yang mendadak

2.3.1 Hubungan Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling terjadi dalam satu sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat ini dapat disebabkan adanya sambaran petir, kegagalan isolasi, gangguan binatang dan ranting pohon. Saat terjadi hubung singkat, arus yang mengalir menuju titik gangguan bernilai sangat besar sehingga tegangan di sekitar titik gangguan akan menurun secara signifikan. Semakin besar arus hubung singkat maka semakin rendah tegangan di sekitar titik gangguan. Hal ini akan mengakibatkan kestabilan sistem menjadi terganggu. Selain itu dapat merusak peralatan karena nilai arus yang sangat besar.

2.3.2 Motor Starting

Pada saat motor di *start*, ada arus yang sangat tinggi yang besarnya 6 sampai 8 kali dari arus nominal. Arus ini disebut dengan *locked rotor current* (LRC) yang nilainya bervariasi pada tiap motor. Arus *starting* yang sangat besar ini akan mengakibatkan drop tegangan pada sistem. Hal ini dikarenakan arus yang besar ini melewati impedansi saluran, trafo sehingga drop tegangan pada saluran semakin besar. Selain itu arus *starting* yang besar juga akan mengakibatkan rugi-rugi daya aktif pada saluran bertambah besar sehingga dapat menurunkan frekuensi generator. Drop tegangan dan turunnya frekuensi ini dapat mengakibatkan kestabilan sistem menjadi terganggu.

2.3.3 Penambahan Beban Secara Tiba-tiba

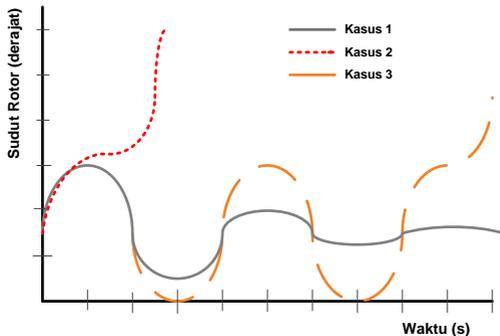
Penambahan beban pada suatu sistem tenaga listrik dapat mengakibatkan timbulnya gangguan peralihan jika:

- a) Jumlah beban melebihi batas kestabilan keadaan mantap untuk kondisi tegangan dan reaktansi rangkaian tertentu

- b) Jika beban dinaikkan sampai terjadi osilasi, sehingga menyebabkan sistem mengalami ayunan yang melebihi titik kritis yang tidak dapat kembali.

Apabila sistem tenaga listrik dilakukan pembebanan dengan beban penuh secara tiba-tiba, maka arus yang diperlukan sangat besar akibatnya frekuensi sistem akan turun dengan cepat [6]. Pada kondisi demikian sistem akan keluar dari keadaan sinkron walaupun besar beban belum mencapai batas kestabilan mantap yaitu daya maksimumnya, Hal ini dikarenakan daya keluar elektrik generator jauh melampaui daya masukan mekanis generator atau daya yang dihasilkan penggerak mula, dan kekurangan ini disuplai dengan berkurangnya energi kinetis generator. Sehingga putaran generator turun atau frekuensi sistem turun, sudut daya δ bertambah besar dan melampaui sudut kritisnya, akibatnya generator akan lepas sinkron atau tidak stabil. Sesaat dilakukannya pembebanan tersebut, rotor generator akan mengalami ayunan dan getaran yang besar.

Karakteristik mesin sinkron untuk kondisi *stable* dan *unstable* ditunjukkan pada Gambar 2.2. Terdapat 3 kasus pada gambar tersebut, pada kasus pertama sudut rotor mengalami kenaikan hingga nilai maksimum kemudian beresilasi sehingga sudut rotor kembali mencapai kondisi *stable*. Pada kasus kedua, rotor kehilangan sinkronisasi sehingga sudut rotor terus naik mencapai kondisi *unstable* saat ayunan pertama. Adapun penyebab utama pada kasus ini adalah kurangnya sinkronisasi torsi. Pada kasus ketiga, sistem tetap *stable* saat ayunan pertama namun pada kondisi akhir sistem menjadi *unstable*. Bentuk *unstable* pada kasus ini umumnya terjadi pada kondisi *postfault steady-state*, bukan akibat dari gangguan transien melainkan akibat dari gangguan dinamik [3].

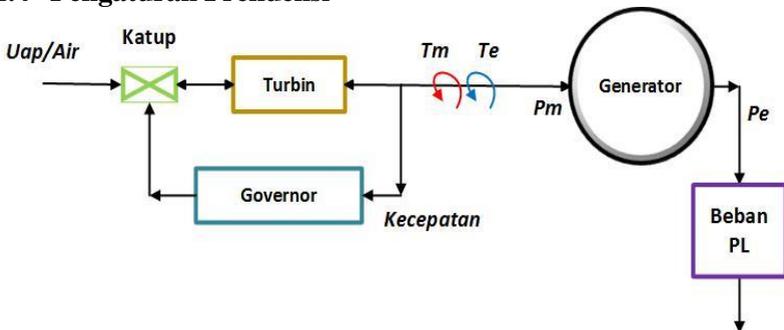


Gambar 2. 2 Respon Sudut Rotor terhadap Gangguan Transien

Sudut rotor, frekuensi, dan tegangan akan berubah selama periode transien dan *magnitude* dari tegangan kumparan medan akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

- Arus induksi pada kumparan peredam (damper winding) selama terjadinya perubahan nilai arus pada kumparan jangkar. Periode ini terjadi pada 0,1 s dan disebut efek *subtransient*
- Arus induksi pada kumparan medan selama terjadinya perubahan mendadak pada arus kumparan jangkar. Periode ini terjadi pada 2 s dan disebut efek *transient*.

2.4 Pengaturan Frekuensi



Gambar 2. 3 Blok Diagram Konsep Dasar Speed Governing

Keterangan gambar:

- T_m = torsi mekanik
- P_m = daya mekanik
- T_e = torsi elektrik
- P_e = daya elektrik
- P_L = Daya beban

Saat ada perubahan beban, terjadi perubahan torsi elektrik (T_e) pada generator secara instan. Hal ini menyebabkan perbedaan antara torsi mekanik (T_m) dan torsi elektrik (T_e) yang menyebabkan perbedaan kecepatan. Daya aktif mempunyai hubungan erat dengan nominal frekuensi pada sistem. Penyediaan daya aktif sistem harus sesuai dengan kebutuhan daya aktif agar frekuensi tetap dalam batas yang diizinkan. Penyesuaian daya aktif ini dilakukan dengan mengatur kopel mekanis

untuk memutar generator, yang tidak lain merupakan pengaturan pemberian bahan bakar turbin. Pengaturan pemberian bahan bakar ini dilakukan oleh governor. Governor akan menambah kapasitas bahan bakar ketika frekuensi turun dari nominalnya dan mengurangi kapasitas ketika frekuensi naik dari nominalnya. Mode operasi speed governor dibagi menjadi dua, yaitu :

- a) *Mode droop*
- b) *Mode isochronous*

2.4.1 Mode Droop

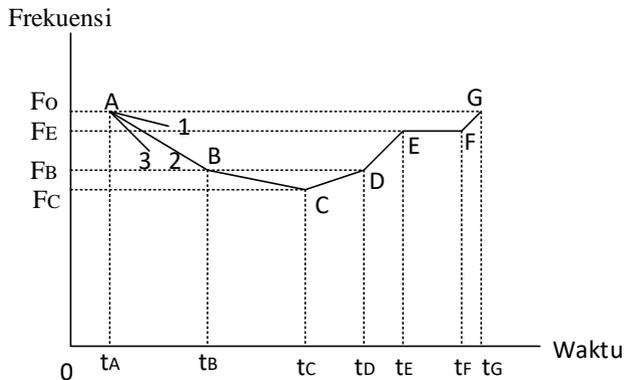
Mode droop governor sudah memiliki *set point* daya mekanik yang besarnya sesuai dengan rating generator atau menurut kebutuhan. Dengan adanya *fixed setting*, nilai *output* daya listrik generator akan tetap sehingga perubahan beban tidak mempengaruhi putaran turbin (daya berbanding lurus dengan putaran).

2.4.2 Mode Isochorus

Pada mode *isochronous set point* putaran governor ditentukan berdasarkan kebutuhan daya pada sistem saat itu secara *real time*. Governor akan menyesuaikan nilai output daya mekanik turbin agar sesuai dengan kebutuhan daya listrik. Caranya dengan mengatur governor berdasarkan *logic control* dari pabrikan generator. Mode ini dapat menjaga frekuensi sistem tetap berada dalam batas yang diizinkan sehingga generator tidak mengalami *loss of synchronization*.

2.5 Load Shedding (Pelepasan Beban)

Jika terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan besarnya suplai daya yang dihasilkan oleh pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban misalnya karena adanya pembangkit yang lepas (*trip*), maka untuk mencegah terjadinya ketidakstabilan sistem perlu dilakukan pelepasan beban (*load shedding*). Keadaan yang kritis pada sistem dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat. Hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Perubahan frekuensi sebagai fungsi waktu dengan adanya pelepasan beban

Pada saat $t=t_A$, ada unit pembangkit yang lepas sehingga frekuensi menurun dengan tajam. Penurunan frekuensi sistem ini bisa melalui garis 1, garis 2 atau garis 3 bergantung pada besarnya kapasitas pembangkit yang lepas dibandingkan dengan kebutuhan beban yang ada. Semakin besar daya yang yang hilang maka akan semakin cepat frekuensi menurun. Kecepatan menurunnya frekuensi sistem juga bergantung pada inersia sistem.

Semakin besar nilai inersia, makin kokoh sistemnya dan makin lambat turunnya frekuensi. Berikut adalah penjelasan mengenai Gambar 2.8 :

- a. Dimisalkan penurunan frekuensi terjadi pada garis 2, dari garis 2 frekuensi turun secara drastis. Ketika frekuensi mencapai F_B maka akan dilakukan *Load Shedding* tahap 1 (titik B). Dengan adanya *Load Shedding* tahap 1 membuat penurunan frekuensi turun secara melambat.
- b. Ketika terjadi penurunan frekuensi hingga F_C maka akan dilakukan *Load Shedding* tahap 2 (titik C). Dengan adanya *Load Shedding* tahap 2 frekuensi sistem menjadi naik. Namun kenaikan frekuensi masih terlalu lambat sehingga untuk mencapai frekuensi normal membutuhkan waktu yang lama.
- c. Ketika frekuensi mencapai frekuensi F_B perlu dilakukan *Load Shedding* tahap 3 (titik D). Dengan adanya *Load Shedding* tahap 3 untuk mencapai frekuensi normal dapat dilakukan sedikit

- lebih cepat namun kecepatannya kenaikan masih terlalu lambat untuk mencapai frekuensi normal.
- d. Sehingga ketika mencapai frekuensi F_E dilakukan *Load Shedding* tahap 4 (titik E). Dengan adanya *Load Shedding* tahap 4 membuat frekuensi sistem menjadi stabil.
 - e. Namun kestabilan frekuensi sistem masih dibawah standart yang ada sehingga ketika $t=t_F$ dilakukan *Load Shedding* tahap 5 (titik F). Akibat *Load Shedding* tahap 5 membuat frekuensi sistem kembali ke frekuensi normal.

Pelepasan beban dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Pelepasan beban secara manual (*Manual Load Shedding*)
2. Pelepasan beban secara otomatis (*Automatic Load Shedding*)

2.5.1 Pelepasan Beban Secara Manual

Pelepasan beban secara manual hanya dapat dipakai dalam keadaan yang tidak begitu penting, seperti perkembangan beban yang melebihi kapasitas pembangkit atau turunnya tegangan di dalam daerah tertentu yang disebabkan oleh gangguan. Dalam keadaan darurat karena turunnya tegangan hingga 80%, operator akan mengambil inisiatif sendiri untuk melakukan pelepasan beban. Kekurangan dari pelepasan beban secara manual alah kebutuhan akan operator yang siap dan handal karena keterlambatan operator dalam mengatasi permasalahan ini akan berakibat fatal pada stabilitas sistem.

2.5.2 Pelepasan Beban Secara Otomatis

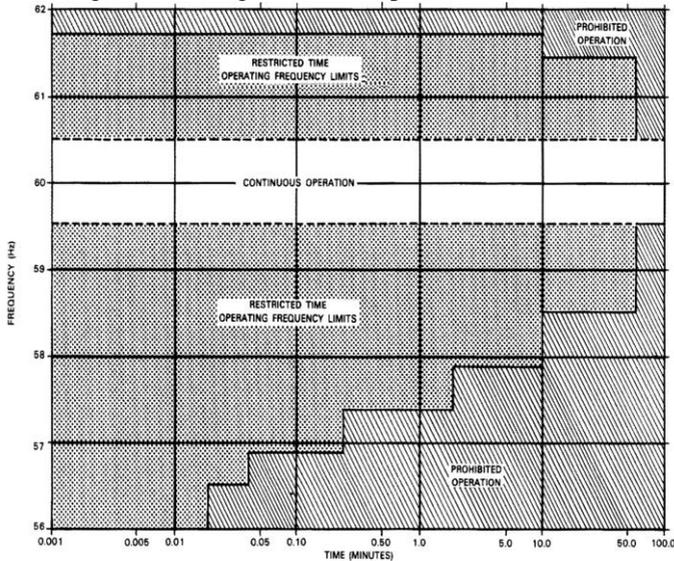
Pelepasan beban secara otomatis menggunakan relay *under frequency* berdasarkan seberapa besar turunnya frekuensi sistem. Perencanaan dan setting rele *under frequency* untuk *Load Shedding* harus dalam kondisi beban berlebih sehingga generator tidak mampu memenuhi kebutuhan beban, atau disebabkan lepasnya salah satu generator dengan sistem. Dengan kelebihan beban maka frekuensi sistem akan turun. Untuk menghindari black out akibat generator overload maka diperlukan *Load Shedding*. Sehingga jika terjadi gangguan yang mengakibatkan kelebihan beban maka beban akan terlepas dengan sendirinya sesuai dengan setting rele *under frequency* (81-U). Pelepasan beban tidak dilakukan secara langsung kelebihan bebannya. Namun pelepasan beban dilakukan secara bertahap. Hal ini untuk menghindari ketika dilakukukan pelepasan beban terjadi

overvoltage. *Setting* rele *underfrequency* mempunyai beberapa settingan sesuai dengan tahapan pelepasan beban. Rele *underfrequency* ditempatkan pada substation-substation dan menginterkoneksi dengan pemutus daya pada feeder yang ingin di lepas.

2.6 Standar yang Digunakan untuk Analisis Kestabilan Transien

2.6.1 Standar Frekuensi

Berdasarkan IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987), penggerak utama generator seringkali lebih rentan terhadap operasi frekuensi off. Secara khusus, kelelahan *blades turbine* adalah perhatian utama. Turbin uap terdiri dari beberapa tahapan yang dirancang untuk berbagai tekanan uap.



Gambar 2. 5 Standar Frekuensi untuk *Steam Turbin Generator* (IEEE Std C37.106-2003)

Setiap turbin terdiri dari beberapa baris *blades* individu dengan panjang yang berbeda. Uap diinjeksikan ke dalam turbine melalui pipa sehingga berdampak pada *blades* dan menyebabkan rotasi sehingga *blades* mengalami deformasi. Tekanan pada *blades* dan frekuensi yang dikenakan tergantung pada kecepatan rotasi turbin. Panjang *blades* dan desainnya akan menentukan resonansi frekuensi.

Pada Gambar 2.5 diatas terdapat 3 daerah operasi untuk *steam turbin generator*, yakni:

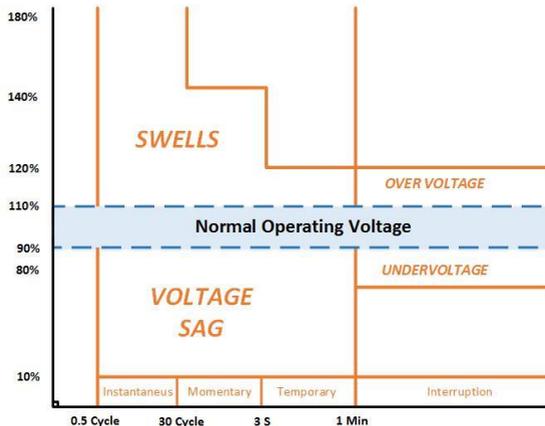
1. *Restricted time operating frequency limits* merupakan daerah frekuensi yang masih diijinkan namun hanya bersifat sementara (tergantung besar frekuensi dan waktu). Semakin besar turun frekuensinya maka semakin pendek waktu yang diijinkan frekuensi pada kondisi tersebut.
2. *Prohibited operation* merupakan daerah frekuensi terlarang, sehingga frekuensi tidak diijinkan mencapai daerah tersebut.
3. *Continuous operation* merupakan daerah frekuensi normal.

Batas frekuensi normal umumnya didasarkan pada kondisi terburuk karena:

- a) Frekuensi dasar *blades* yang berbeda karena toleransi manufaktur
- b) Kekuatan kelelahan bisa menurun dengan operasi normal seperti kasus *pitting corrosion* dan erosi tepi *blades*
- c) Erosi dan korosi *blades* dapat menyebabkan pergeseran kecil di frekuensi dasar dari *blades*
- d) Pengaruh rugi tambahan dari masa *blades* yang terjadi selama kondisi operasi *abnormal*

Setiap manufaktur/produsen memiliki karakteristik tertentu untuk batas operasi frekuensi *abnormal*. Batas tersebut dapat direpresentasikan dalam grafik untuk membantu dalam penentuan pengaturan perangkat pelindung. Gambar 2.5 adalah standar untuk menggambarkan batas operasional turbin uap. Daerah antara 59,5 dan 60,5 Hz adalah batas daerah operasi yang diperbolehkan, sedangkan daerah yang diarsir (diatas 60,5 Hz dan dibawah 59,5 Hz) adalah batas daerah yang dilarang. Jika dikonversikan dalam standar sistem frekuensi 50 Hz maka 59,5 Hz sama dengan 49,58 Hz (99,17%) dan 60,5 Hz sama dengan 50,42 Hz (100,83%)

2.6.2 Standar Tegangan



Gambar 2. 6 Definisi *Voltage Magnitude Event* berdasarkan Standar IEEE 1195-1995

Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar PLN, yaitu :

- 500 kV +5%, -5%
- 150 kV +5%, -10%
- 70 kV +5%, -10%
- 20 kV +5%, -10%

Sedangkan standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* (IEEE Std 1159-1995). Gambar 2.6 menunjukkan bahwa untuk kedip tegangan batas nilai yang diperbolehkan adalah 10% untuk *momentary* selama 3 detik senagkan untuk *temporary* selama 1 menit.

2.6.3 Standar Pelepasan Beban

Ketika beban dalam kondisi kekurangan suplai daya, tidak diijinkan melepas beban secara besar-besaran. Terdapat dua skema pelepasan beban yang mengacu pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987, yaitu pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah. Tabel di bawah merupakan skema pelepasan beban tiga langkah dan enam langkah berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987

Tabel 2.1 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

Langkah	Batas Frekuensi (Hz)	Persentase Load Shedding (%)	Waktu Sensing Relay (Cycle)
1	59.3	10	6
2	58.9	15	6
3	58.5	as require to arrest decline before 58.2	

Tabel 2.2 Skema Pelepasan Beban Enam Langkah

Langkah	Batas Frekuensi (Hz)	Persentase Load Shedding (%)	Waktu Sensing Relay (Cycle)
1	59,5	10	6
2	59,2	10	6
3	58,8	5	6
4	58,8	5	14
5	58,4	5	14

Menurut standar ANSI/IEEE C37.106-1987 terdapat dua skema yaitu skema pelepasan beban dengan 3 langkah dan 6 langkah. Standar ANSI/IEEE C37.106-1987 menggunakan frekuensi 60 Hz. Namun dalam tugas akhir kali ini menggunakan frekuensi 50 Hz [11]. Sehingga perlu mengubah standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dalam bentuk % sehingga dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz. Dalam tugas akhir ini menggunakan pelepasan beban tiga langkah. Dalam pelepasan 3 langkah, jika terjadi gangguan yang membuat kekurangan suplai daya tidak harus dilakukan 3 langkah. Namun 3 langkah ini adalah maksimal pelepasan beban. Jika dengan 1 atau 2 langkah mampu membuat sistem menjadi stabil dan masih dalam standart yang ada, maka cukup *Load Shedding* 1 atau 2 langkah saja.

Pada *Load Shedding* 3 langkah, *Load Shedding* pertama dilakukan ketika frekuensi 98.83%, besar beban yang dilepas adalah 10% dari beban total, dan waktu CB membuka adalah 0,12 s. jika dengan *Load Shedding* pertama sistem belum stabil maka diperlukan *Load Shedding* kedua. Untuk *Load Shedding* kedua dilakukan ketika frekuensi 98.16%, besar beban yang dilepas adalah 15% dari beban total. Jika dengan dilakukannya *Load Shedding* tahap 2 sistem belum stabil, maka perlu dilakukan *Load Shedding* ketiga. *Load Shedding* ketiga dilakukan ketika frekuensi sistem 97,5 % dan besar beban yang dilepas disesuaikan dengan kekurangan suplai daya dari *Load Shedding* kedua. Dan

frekuensinya tidak diijinkan turun hingga 97%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah Sistem 60 Hz dan 50 Hz

Langkah	Batas Frekuensi Trip (Hz)		%	Persentase Load Shedding (%)	Waktu Sensing Relay (Cycle)
	Sistem 60 (Hz)	Sistem 50 (Hz)			
1	59.3	49.41	98.83	10	6
2	58.9	49.08	98.16	15	6
3	58.5	48.75	97.5	<i>As required to arrest decline before 58.2(97%) Hz</i>	

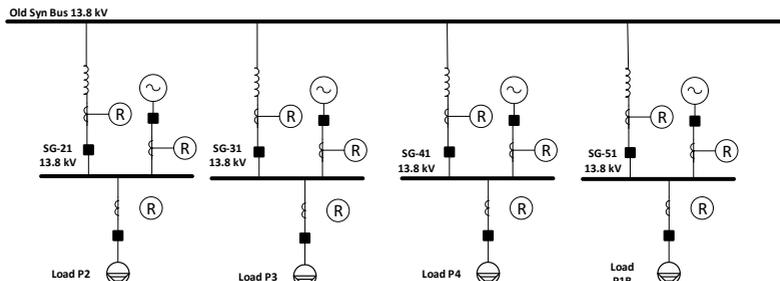
[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT PUSRI PALEMBANG

3.1 Sistem Kelistrikan PT Pusri Palembang

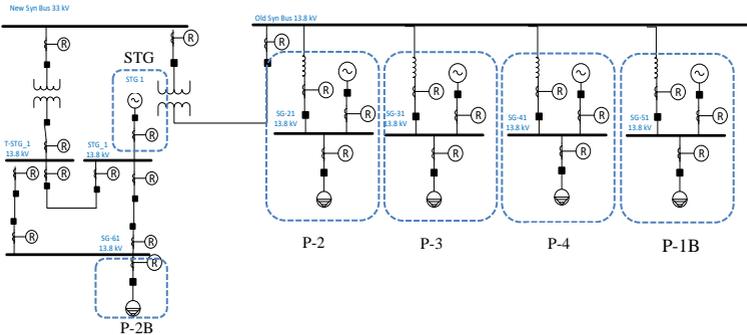
PT Pusri Palembang mempunyai sistem kelistrikan yang besar dan kompleks. Pada kondisi awal sebelum diberi penambahan beban dan generator baru, PT Pusri Palembang memiliki tiga unit pembangkit dengan kapasitas 15 MW dan satu unit pembangkit dengan kapasitas 22,6 MW. Sistem kelistrikan di PT Pusri Palembang merupakan sistem kelistrikan *islanding*, yang saling terhubung dengan *synchronous bus* untuk menjaga keandalan dari sistem kelistrikan PT Pusri Palembang. *Islanding* tersebut terbagi atas Pusri 2, Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 1B, seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Sistem Kelistrikan Sebelum Penambahan Beban Pusri 2B dan Generator 1x38 MW

Penambahan beban berupa Pusri 2B serta pembangkit STG-1 yang berkapasitas 38 MW membuat perubahan sistem kelistrikan pada PT PUSRI sehingga membutuhkan penambahan *synchronous bus* baru dengan kapasitas 33 kV untuk menghubungkan jaringan baru dan jaringan lama. *Powerplant* yang semula terbagi atas empat bagian, kini berubah menjadi lima bagian dengan adanya Pusri 2B. Pembangkit STG-1 ini mensuplai daya untuk Pusri 2B dan mengalirkan daya ke jaringan kelistrikan yang lama, sehingga dibutuhkan studi stabilitas transien untuk

mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan transien . Sistem kelistrikan yang baru +ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Sistem Kelistrikan Baru PT Pusri Palembang

3.2 Kapasitas Pembangkitan PT Pusri Palembang Setelah Penambahan Beban P2B dan Generator 1 x 38 MW

Setelah dilakukan penambahan, PT PUSRI Palembang memiliki total lima generator untuk memenuhi kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan PT Pusri Palembang. Generator tersebut tersebar dengan rincian pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data Kapasitas Pembangkit di PT PUSRI Palembang

No	ID	Lokasi	Tegangan (KV)	Kapasitas (MW)
1	STG-1	PUSRI 2B	13,8	38
2	2006-J	PUSRI 2	13,8	15
3	3006-J	PUSRI 3	13,8	15
4	4006-J	PUSRI 4	13,8	15
5	5006-J	PUSRI 1B	13,8	22,6

Pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang, generator STG-1 beroperasi menjadi *swing* generator sedangkan empat generator yang lain beroperasi sebagai *voltage control*. Ketika terjadi kasus STG-1 *outage* maka dilakukan *rev machine* pada generator 5006-J menjadi *swing* dan tiga generator lain tetap beroperasi sebagai *voltage control*.

Pembangkitan, pembebanan, dan *demand* dari PT Pusri Palembang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Total Pembangkitan , Pembebanan, dan Demand di PT Pusri Palembang

	MW	Mvar	MVA	% PF
<i>Source (swing bus)</i>	26,707	21,599	34,348	77,75 lagging
<i>Source (non swingbus)</i>	47,00	22,425	52,076	90,25 lagging
<i>Total Demand</i>	73,707	44,024	85,854	85,85 lagging
<i>Total Motor Load</i>	60,584	37,033	71,006	85,32 lagging
<i>Total Static Load</i>	13,042	7,982	15,290	85,29 lagging

3.3 Sistem Distribusi di PT Pusri Palembang

PT PUSRI Palembang menggunakan sistem distribusi radial untuk system kelistrikannya, dengan dua *synchronous bus* untuk menghubungkan jaringan kelistrikan lama dan jaringan kelistrikan baru. Terdapat tiga level tegangan pada sistem distribusi kelistrikan di PT Pusri Palembang, seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data Bus Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	Lokasi	ID Bus	Tegangan Bus
1	Synchronous	Syn Bus New	33 kV
2		Syn Bus Old	13,8 kV
3	PUSRI 2	SG-21	13,8 kV
4	PUSRI 3	SG-31	13,8 kV
5	PUSRI 4	SG-41	13,8 kV
6	PUSRI 1B	SG-51	13,8 kV
7	PUSRI 2B	STG-1	13,8 kV
		SG-61	13,8 kV

Sistem kelistrikan PT Pusri Palembang ditunjang oleh transformator untuk menurunkan tegangan sebelum masuk ke beban. Data transformator yang ada pada PT Pusri Palembang ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	ID	MVA	kV	% Z	Hubungan
1	TR-69	2,5	13,8/2,4	5,5	Delta - Wye
2	T-STG1	40	33/13,8	12,5	Delta - Wye
3	TR-44	2,5	13,8/2,4	5,76	Delta - Wye
4	TR-59	2,5	13,8/2,4	6	Delta - Wye

Selain transformator penurun daya, terdapat transformator penghubung (*Tie Transformer*) yang menghubungkan jaringan kelistrikan lama dengan jaringan kelistrikan baru. Data *Tie Transformer* ditunjukkan oleh Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Data *Tie Transformer* Pada Sistem Kelistrikan di PT Pusri Palembang

No	ID	MVA	kV	% Z	Hubungan
1	T-Synbus-Old-New	40	33/13,8	12,5	Delta - Wye

3.4 Data Beban di PT PUSRI Palembang

3.4.1 Data Beban Eksisting di PT PUSRI Palembang

Beban PT Pusri I Palembang terbagi atas lima *powerplant*, yaitu: Pusri 1B, Pusri 2 Pusri 3, Pusri 4, dan Pusri 2B. Data beban pada eksisting tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Data Beban Eksisting di PT PUSRI Palembang

List Beban			Name Plate	Aktual Load	Total Beban per Plant
			MW		
Pusri-2	1	Urea Plant P-2 kritis (480 V)	1.450	1.102	9371
	2	Urea P-2 selektif (motor 2,3kV)	1.950	1.482	
	3	UOP P- 2	1.000	760	
	4	P-1 Adm. Bldg (SS-7)+ex kellog	1.100	836	
	5	PET P-2	100	76	
	6	Cooling Tower Fans P-2	150	114	

List Beban		Name Plate	Aktual Load	Total Beban per Plant	
		MW			
	7	Package Boiler P-2	2.500	1.900	
	8	Cooling Tower Pump P-2	930	707	
	9.	Beban Kritis P-2	3.150	2.394	
Pusri-3	10	UGA (salah satu) P-3	475	361	10336
	11	Urea Plant P-3 kritis (480 V)	1.395	1.060	
	12	Urea P-3 selektif	2.905	2.208	
	13	AOP P-3 (101 - JM)	2.300	1.748	
	14	PET P-3	500	380	
	15	Cooling Tower Fans P-3	150	114	
	16	ASP-3 & CO2 PLANT	400	304	
	17	Cooling Tower Pump P-3	1.500	1.140	
	18	Beban Kritis P-3	3.975	3.021	
Pusri-4	19	UGA (salah satu) P-4	475	361	8455
	20	Urea Plant P-4 kritis (480 V)	1.395	1.060	
	21	Urea P-4 selektif	2.905	2.208	
	22	AOP P-4 (101 - JM)	2.300	1.748	
	23	PET P-4	400	304	
	24	Cooling Tower Fans P-4	150	114	
	25	Cooling Tower Pump P-4	1.500	1.140	
	26	Beban Kritis P-4	2.000	1.520	
Pusri-1B	27	Urea Plant P-1B kritis (480 V)	1.858	1.412	10375
	28	Urea P-1B selektif	842	640	
	29	Head Office, Housing (SG-51K)	2.000	1.520	
	30	Kawasan Industri	1.200	912	
	31	Pompa Sungai P-1B & IA Comp P-4	300	228	
	32	Cooling Tower Fans P-1B	750	570	
	33	Cooling Tower Pump P-1B	1.575	1.197	
	34	New NPK (Via SG - 51-B)	1.700	1.445	
Pu	35	Beban Kritis P-1B	3.225	2.451	
	36	MCC-61A Selektif (2,4kV) Ammonia	578	491	

List Beban		Name Plate	Aktual Load	Total Beban per Plant	
		MW			
MW	37	MCC-64, Selektif (2,4 kV) CT-Fan (Via SG-51-B)	Sudah masuk di beban kritis		20407
	38	MCC-63, Selektif (2,4 kV) CT-Fan	1.169	994	
	39	MCC-68 Total (2,4 kV) Urea	3.106	2.640	
	40	MCC-611 Total (480V) Urea	2.049	1.742	
	41	MCC-69 Selektif (2,4 kV) RWI (Masuk Beban Kritis)	Sudah masuk di beban kritis		
	42	MCC-612 Selektif (2, 4kV) Utilitas	3.001	2.551	
	43	MCC-61 NH3 (480V)	Sudah masuk di beban kritis		
	44	MCC-62,(480V) Ammonia (Via SG-51-B)	Sudah masuk di beban kritis		
	45	DS-6852, (MCC-65) / (480V) OUA	Sudah masuk di beban kritis		
	46	SG-61 (104-JAM, 13.8 kV)	2.500	2.125	
	47	SG-61 (107- JCM, 13.8 kV)	2.500	2.125	
	48	SG-61 (30-P-6209-JAM, 13.8 kV)	2.200	1.870	
	49	DS-6852 (Feeder ke UBS-P2B)	2.000	1.700	
50	Beban Kritis P-2B	4.905	4.169		
STG	51	GP-1001-MVSG/MCC-Boiler 1 Selektif (2,4 kV)	3.214	2.732	14681
	52	GP-1001-LVSG/MCC-Boiler 1 Selektif (480V)	1.304	1.108	
	53	GP-2001-MVSG/MCC-Boiler 2 Selektif (2,4 kV)	3.214	2.732	
	54	GP-2001-LVSG/MCC-Boiler 2 Selektif (480V)	1.328	1.129	
	55	GP-3001-MVSG/MCC-Boiler 1 Selektif (2,4 kV)	1.917	1.630	
	56	GP-3001-LVSG/MCC-Common Boiler Selektif (480V)	1.128	959	

List Beban			Name Plate	Aktual Load	Total Beban per Plant
	57	GP-3002-MVSG/MCC-Boiler 2Selektif (2,4 kV)	2.258	1.920	
	58	GP-4001-LVSG/MCC-RWI Selektif (480V)	185	157	
	59	GP-5001-LVSG/MCC-Coal Handling Selektif (480V)	474	403	
	60	MCC-Jetty Total	2.000	1.700	
	61	Beban Kritis STG	250	213	
Total					73.625
Load Factor P-2/3/4/1B			0.76		
Load Factor P-2B+STG			0.85		

3.4.2 Data Beban Selektif

Pada tabel 3.7 dibawah akan ditunjukkan data beban di PT. Pusri Palembang yang diijinkan untuk dilepas pada mekanisme Load Shedding.

Tabel 3. 7 Data Beban Selektif

List Beban			Name Plate	Aktual Load
Pusri-2B	1	P-1 Adm. Bldg (SS-7)+ex kellog	1.100	836
	2	Cooling Tower Pump P-2	930	707
Pusri-3	1	UGA (salah satu) P-3	475	361
	2	Urea P-3 selektif	2.905	2.208
	3	PET P-3	500	380
	4	Cooling Tower Fans P-3	150	114
	5	ASP-3 & CO2 PLANT	400	304
	6	Urea Plant P-3 kritis (480 V)	1.395	1.060
Pusri-4	7	AOP P-3 (101 - JM)	2.300	1.748
	8	Cooling Tower Pump P-3	1.500	1.140
	1	UGA (salah satu) P-4	475	361
	2	Urea P-4 selektif	2.905	2.208
	3	PET P-4	400	304
	4	Cooling Tower Fans P-4	150	114
	5	Urea Plant P-4 kritis (480 V)	1.395	1.060

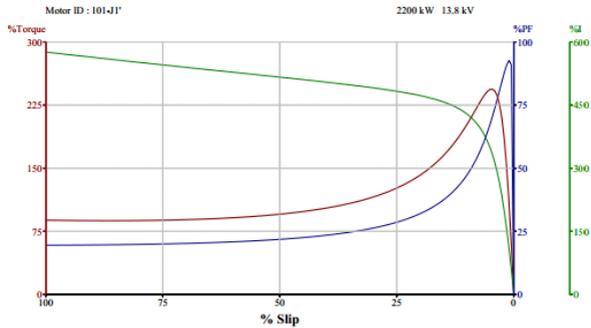
List Beban			Name Plate	Aktual Load
			MW	
	6	AOP P-4 (101 - JM)	2.300	1.748
	7	Cooling Tower Pump P-4	1.500	1.140
Pusri-1B	1	Head Office, Housing (SG-51K)	2.000	1.520
	2	Kawasan Industri	1.200	912
	3	New NPK (Via SG - 51-B)	1.700	1.445
Pusri-2B	1	SG-61 (107- JCM, 13.8 kV)	2.500	2.125
	2	SG-61 (30-P-6209-JAM, 13.8 kV)	2.200	1.870
	3	DS-6852 (Feeder ke UBS-P2B)	2.000	1.700
STG	1	MCC-Jetty Total	2.000	1.700
	2	GP-2001-LVSG/MCC-Boiler 2 Selektif (480V)	1.328	1.129
	3	GP-3002-MVSG/MCC-Boiler 2 Selektif (2,4 kV)	2.258	1.920
	4	GP-2001-MVSG/MCC-Boiler 2 Selektif (2,4 kV)	3.214	2.732

3.4.3 Motor terbesar PT Pusri Palembang

Pada analisa kestabilan transient untuk kasus motor *starting*, beban motor terbesar pabrik perlu di perhitungkan. Motor terbesar terdapat pada P-3 memiliki rating tegangan 13,8kV dengan kapasitas 2200 kW yang terhubung langsung pada bus SG-31. Karakteristik motor terbesar dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.3.

Tabel 3.8 Data Spesifikasi Motor 101-J1'

Karakteristik	Setting
LRC	576,1%
PF	19.47%
1/2 cy Xsc	17.358%
1,5 – 4 cy Xsc	26.037%
X/R	5.083



Gambar 3.3 Karakteristik Motor

Gambar 3.3 menunjukkan kurva karakteristik motor induksi yang digunakan di PT. Pusri Palembang. Data kurva karakteristik ini diperlukan untuk Studi Kestabilan transien khususnya pada kasus motor starting. Dari kurva ini akan didapatkan berapa besar torsi, arus, PF yang dibutuhkan saat motor starting, sehingga program dapat memberikan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor sistem ketika terjadi perubahan ini.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN PADA PT PUSRI PALEMBANG

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Berdasarkan data-data yang ada dilakukan pemodelan dalam bentuk *single line diagram* dari sistem kelistrikan di PT. Pusri Palembang. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dan analisis kestabilan transien dengan beberapa kasus kemungkinan terjadinya gangguan. Pada tugas akhir ini analisis dilakukan ketika terjadi *generator outage*, *short circuit*, dan *motor starting*.

4.2 Studi Kasus Kestabilan Transien

Pada simulasi ini dilakukan analisis kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban di PT. Pusri Palembang akibat generator *outage*, *short circuit*, motor *starting*. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam tugas akhir ini adalah respon dari frekuensi, tegangan, dan sudut rotor pada sistem.

Studi kasus gangguan yang digunakan pada simulasi ini antara lain sebagai berikut:

1. *Generator Outage*

Pada kasus ini terdapat generator yang tiba-tiba terlepas dari sistem saat sedang terinterkoneksi. Terdapat 2 case untuk generator *outage* yaitu case A (saat plant P2B sudah terhubung dengan sistem, pembangkit STG belum) dan case B (saat plant P2B dan pembangkit STG terhubung)

2. *Short Circuit*

Pada kasus ini terjadi gangguan hubung singkat pada bus SG-3301 dengan level tegangan 33 kV; bus SG_SB dengan level tegangan 13,8 kV; bus SG-61 dengan level tegangan 13,8 kV; bus STG-1 dengan level tegangan 13,8 kV

3. *Motor Starting*

Pada kasus ini terjadi *starting* motor terbesar 2200 kW saat sistem sedang beroperasi. Motor yang di *starting* adalah 101-J1'.

Tabel 4. 1 Studi Kasus Kestabilan Transien

No	Kasus	Keterangan
	CASE A	Plant P2B terhubung, STG belum
1.	Gen P-2 OFF	Generator P-2 <i>outage</i> dari sistem
2.	Gen P-3 OFF	Generator P-3 <i>outage</i> dari sistem
3.	Gen P-4 OFF	Generator P-4 <i>outage</i> dari sistem
4.	Gen P-1B OFF	Generator P-1B <i>outage</i> dari sistem
	CASE B	Plant P2b dan STG terhubung
5.	Gen P-2 OFF	Generator P-2 <i>outage</i> dari sistem
6.	Gen P-3 OFF	Generator P-3 <i>outage</i> dari sistem
7.	Gen P-4 OFF	Generator P-4 <i>outage</i> dari sistem
8.	Gen P-1B OFF	Generator P-IB <i>outage</i> dari sistem
9.	Gen STG OFF	Generator STG <i>outage</i> dari sistem
10.	SC 1	Gangguan hubung singkat di bus SG-3301 (33 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya
11.	SC 2	Gangguan hubung singkat di bus SG_SB (13,8 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya
12.	SC 3	Gangguan hubung singkat di bus SG-61 (13,8 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya
13.	SC 4	Gangguan hubung singkat di bus STG-1 (13,8 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya
14.	<i>Motor Starting</i>	Motor <i>Stating</i> 101-JI' (2200 kW)

Pada kasus gangguan generator *outage*, bus yang digunakan sebagai parameter kestabilan transien sistem adalah:

- i. Bus SG-21 merupakan bus yang terhubung dengan P2 dengan tegangan 13,8 kV.
- ii. Bus SG-31 merupakan bus yang terhubung dengan P3 dengan tegangan 13,8 kV.
- iii. Bus SG-41 merupakan bus yang terhubung dengan P4 dengan tegangan 13,8 kV.

- iv. Bus SG-51 merupakan bus yang terhubung dengan P1B dengan tegangan 13,8 kV.
- v. Bus SG-61 merupakan bus yang terhubung dengan P2B dengan tegangan 13,8 kV.
- vi. Bus SG-3301 merupakan *synchronous* bus baru dengan level tegangan 33 kV.
- vii. Bus STG_1 merupakan bus yang terhubung dengan STG dengan tegangan 13,8 kV.

Pada kasus gangguan *3-phase short circuit* bus yang digunakan sebagai parameter kestabilan transien adalah:

- i. Bus SG-3301 merupakan *synchronous* bus baru yang memiliki tegangan 33 kV .
- ii. Bus SG-SB merupakan bus yang mewakili tegangan 13,8 kV pada plant baru.
- iii. Bus SG-61 merupakan bus yang mewakili tegangan 13,8 kV pada *plant* P2B.
- iv. Bus STG_1 merupakan bus yang mewakili tegangan 13,8 kV pada *plant* STG.

Pada kasus gangguan motor *starting*, bus yang digunakan sebagai parameter kestabilan transien adalah bus SG-31 yang terhubung langsung dengan motor yang akan *starting*. Dalam kasus ini Bus SG-21, SG-41, SG-3301 dan STG_1 juga dijadikan parameter untuk melihat apa dampak kestabilan transien dari *motor starting* pada masing-masing level tegangan.

4.3 Hasil Simulasi Kestabilan Transien

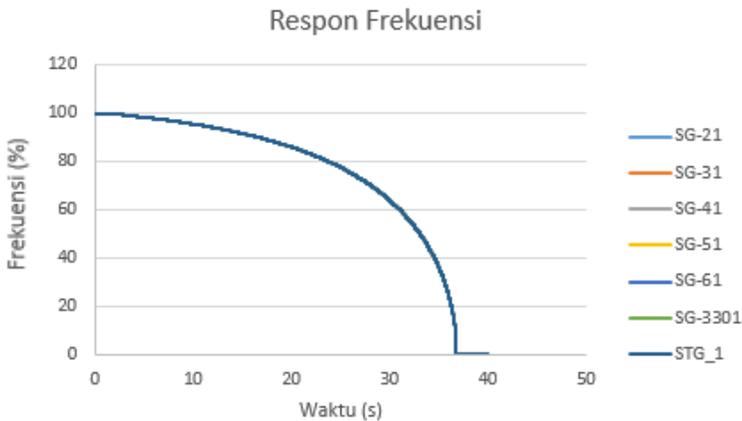
Pada sub ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisis kestabilan transien untuk tiap studi kasus gangguan yang telah ditentukan. Hasil yang akan dianalisis meliputi respon frekuensi dan tegangan dari masing-masing bus yang telah ditentukan sebelumnya, dan juga sudut rotor generator yang terinterkoneksi ke sistem.

4.3.1 Simulasi Kestabilan Transien Generator *Outage*

Pada sub bab 4.3.1. akan dilakukan simulasi kestabilan transien untuk studi kasus generator *outage*.

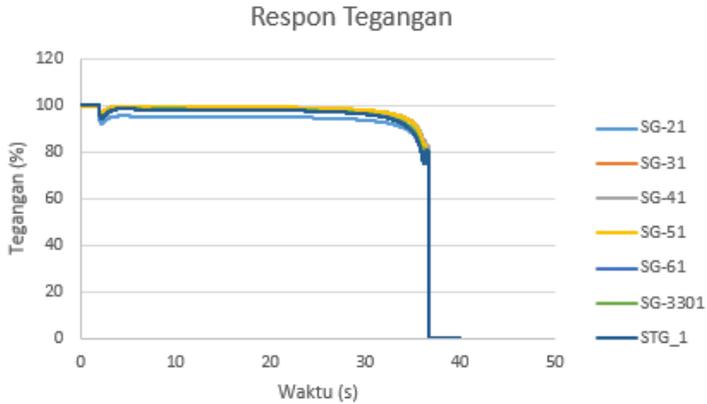
4.3.1.1 Studi Kasus CASE A, Gen P-2 OFF: Generator P-2 Outage dari Sistem ($t=2s$)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-2 OFF dan 3 generator lainnya ON pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



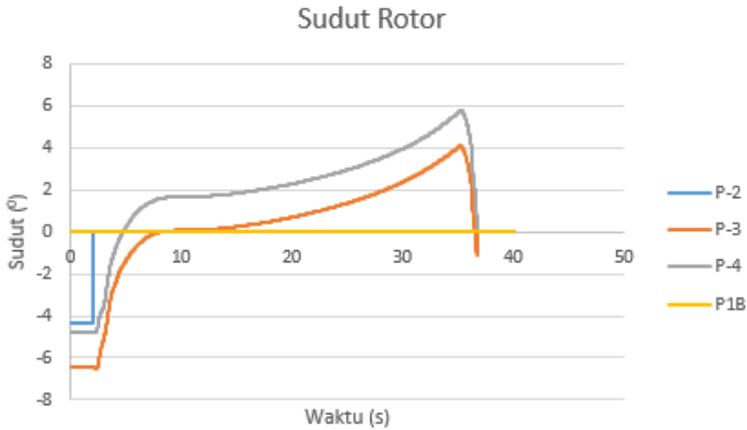
Gambar 4. 1 Respon Frekuensi Saat Generator P-2 Outage dari Sistem

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-2 dengan total sebesar 15 MW. Sebelum akhir waktu simulasi yaitu 40s frekuensi sudah mencapai 0%, sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 2 Respon Tegangan saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 92,05%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 96,91%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 99,47%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 96,96%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 94,68%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 95,09%. Bus STG_1 mengalami penurunan hingga 94,67%. Setelah detik 30 masing-masing bus mengalami penurunan terus menerus hingga mencapai 0% sebelum detik 40. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



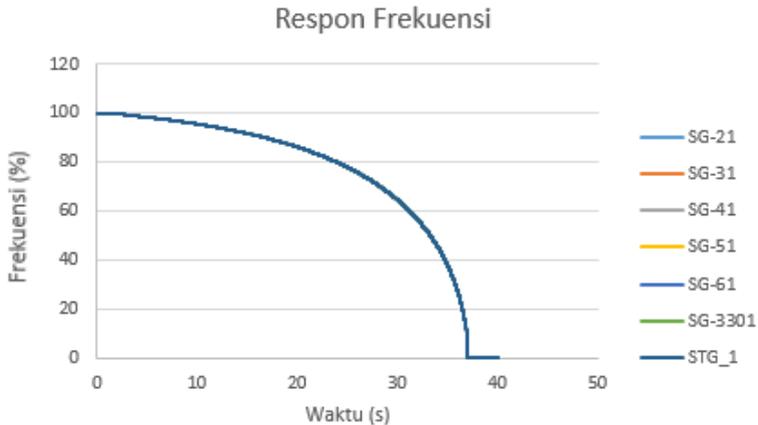
Gambar 4. 3 Respon Sudut Rotor saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.3 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat P-2 *outage*. Dari gambar tersebut, terlihat masing-masing generator mengalami kenaikan sudut rotor setelah detik ke-2. Generator P-3 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $4,1^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P-4 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $5,78^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-2 *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

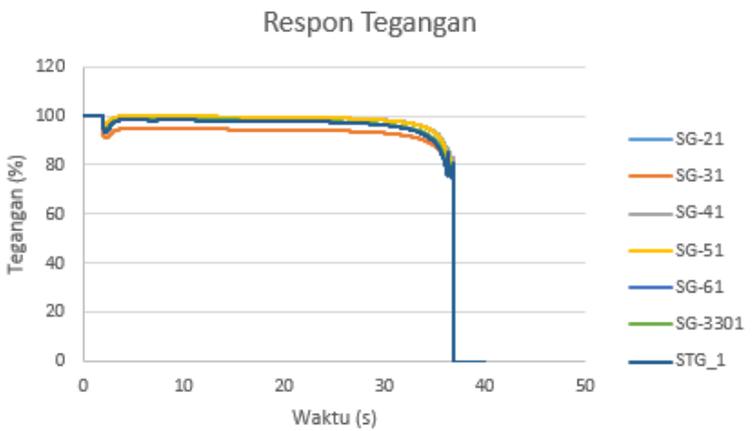
4.3.1.2 Studi Kasus CASE A, Gen P-3 OFF : Generator P-3 Outage dari Sistem ($t=2s$)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-3 OFF dan 3 generator lainnya ON pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



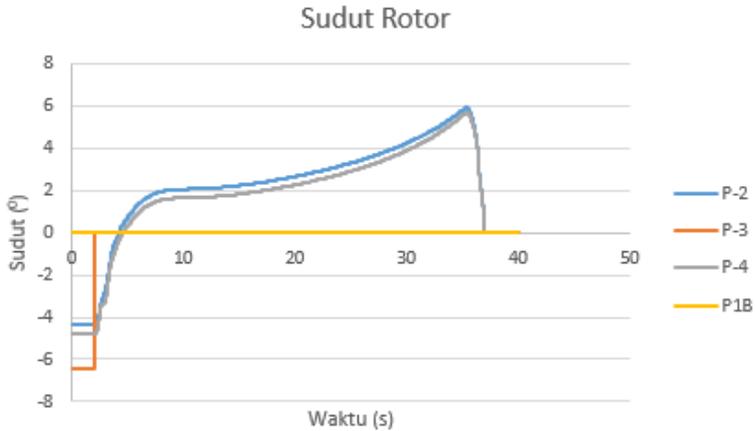
Gambar 4. 4 Respon Frekuensi Saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-3 dengan total sebesar 15 MW. Sebelum akhir waktu simulasi yaitu 40s frekuensi sudah mencapai 0%, sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 5 Respon Tegangan saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 92,29%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 90,86%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 96,2%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 96,23%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 93,43%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 93,95%. Bus STG_1 mengalami penurunan hingga 93,42%. Setelah detik 30 masing-masing bus mengalami penurunan terus menerus hingga mencapai 0% sebelum detik 40. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



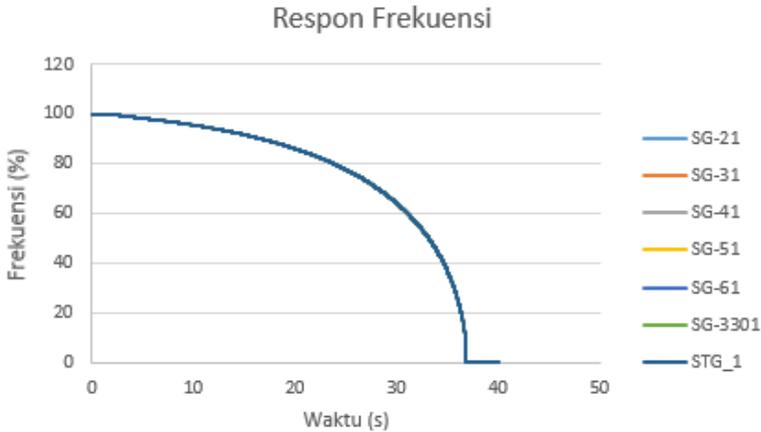
Gambar 4. 6 Respon Sudut Rotor saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.6 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat P-3 *outage*. Dari gambar tersebut, terlihat masing-masing generator mengalami kenaikan sudut rotor setelah detik ke-2. Generator P-2 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $5,93^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P-4 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $5,71^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-3 *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

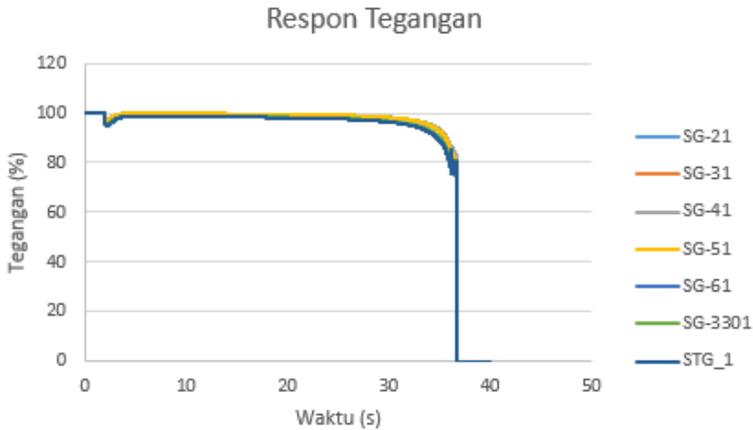
4.3.1.3 Studi Kasus CASE A, Gen P-4 OFF : Generator P-4 Outage dari Sistem ($t=2s$)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-4 OFF dan 3 generator lainnya ON pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



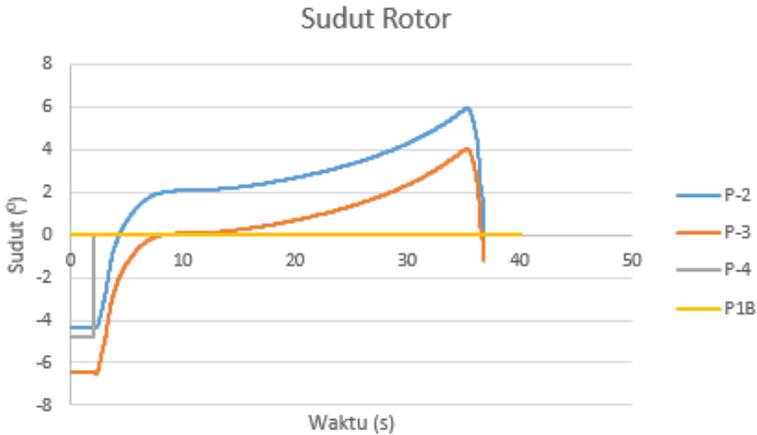
Gambar 4. 7 Respon Frekuensi Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-4 dengan total sebesar 15 MW. Sebelum akhir waktu simulasi yaitu 40s frekuensi sudah mencapai 0%, sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 8 Respon Tegangan Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 96,85%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 96,82%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 96,82%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 96,86%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 94,51%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 94,93%. Bus STG_1 mengalami penurunan hingga 94,50%. Setelah detik 30 masing-masing bus mengalami penurunan terus menerus hingga mencapai 0% sebelum detik 40. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



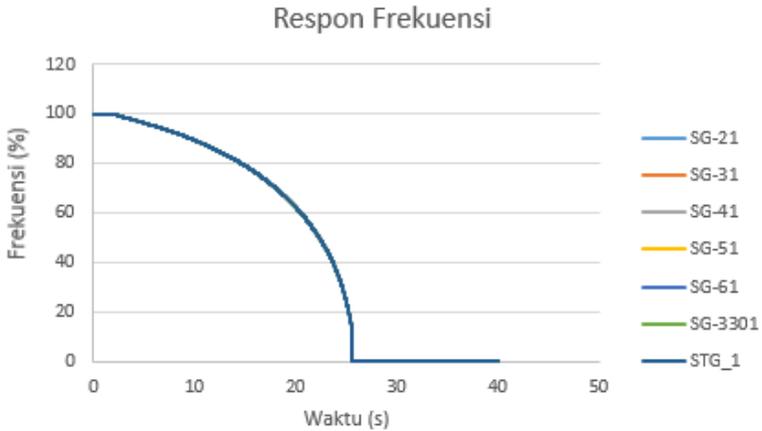
Gambar 4. 9 Respon Sudut Rotor Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.9 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat P-4 *outage*. Dari gambar tersebut, terlihat masing-masing generator mengalami kenaikan sudut rotor setelah detik ke-2. Generator P-2 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $5,97^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P-3 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $4,08^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-3 *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

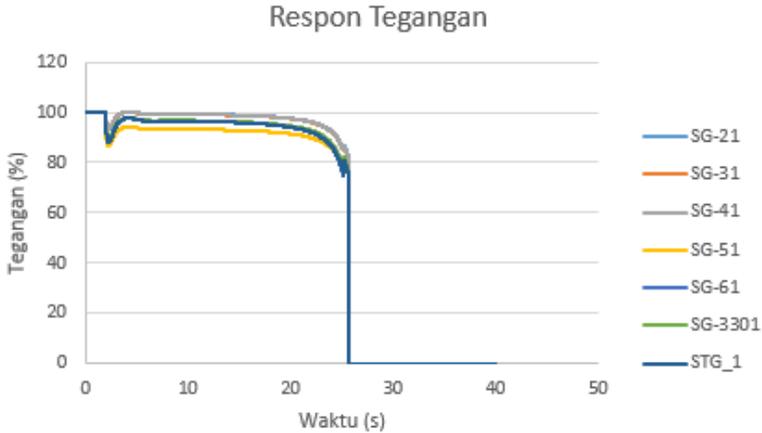
4.3.1.4 Studi Kasus CASE A, Gen P-1B OFF: Generator P-1B *Outage* dari Sistem ($t=2s$)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-4 *OFF* dan 3 generator lainnya *ON* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



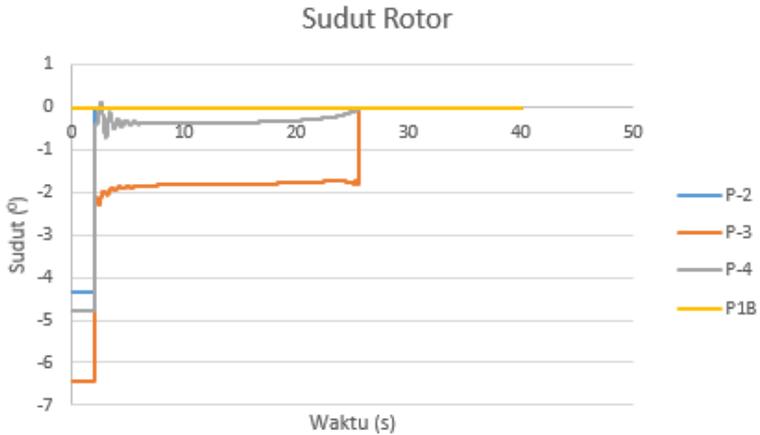
Gambar 4. 10 Respon Frekuensi Saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-1B dengan total sebesar 22,6 MW. Sebelum akhir waktu simulasi yaitu 40s frekuensi sudah mencapai 0%, sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 11 Respon Tegangan saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 93,3%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 93,27%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 93,12%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 86,76%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 87,90%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 88,94%. Bus STG_1 mengalami penurunan hingga 87,89%. Setelah detik 20 masing-masing bus mengalami penurunan terus menerus hingga mencapai 0% sebelum detik 40. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



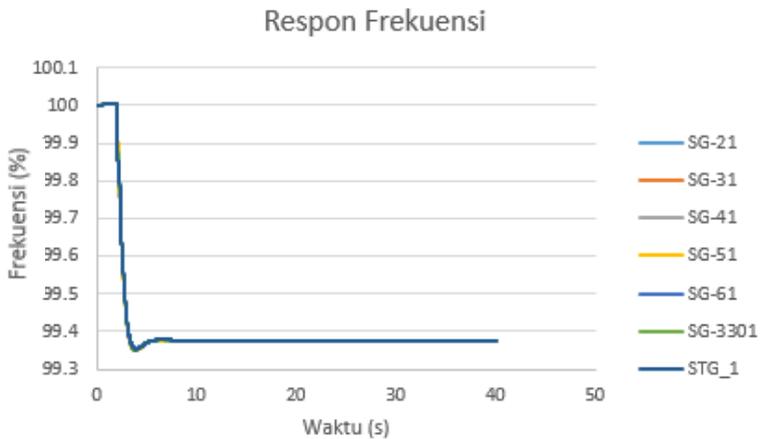
Gambar 4. 12 Respon Sudut Rotor Saat Generator P-1B Outage dari Sistem

Gambar 4.12 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat P-1B *outage*. Dari gambar tersebut, terlihat masing-masing generator mengalami kenaikan sudut rotor setelah detik ke-2. Generator P-2 mengalami kenaikan sudut rotor hingga $0,12^{\circ}$ dan kembali turun hingga 0° setelah detik ke 35. Generator P-3 mengalami osilasi sudut rotor sekitar -2° pada saat detik ke 2 dan kemudian naik hingga 0° sebelum detik ke 35. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-1B *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

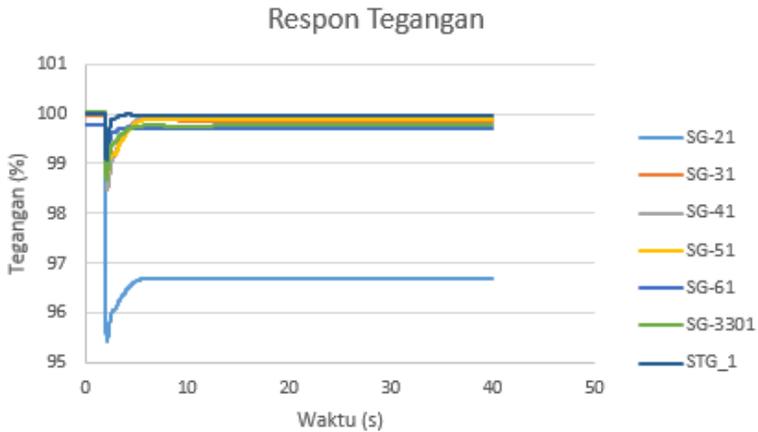
4.3.1.5 Studi Kasus CASE B, Gen P-2 OFF: Generator P-2 Outage dari Sistem ($t=2s$)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-2 OFF dan 4 generator lainnya ON pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



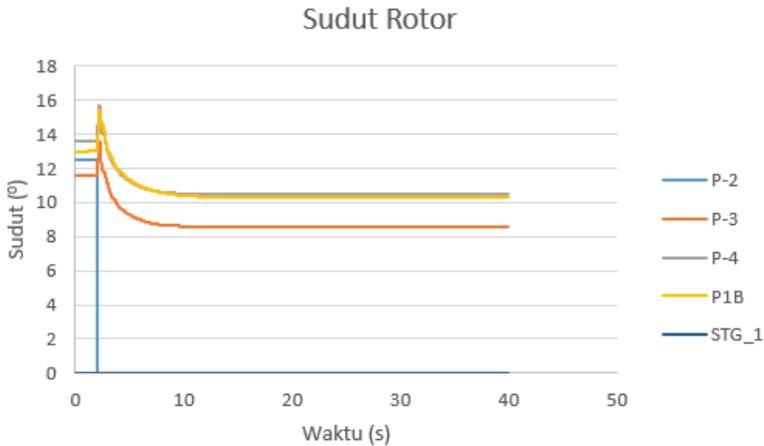
Gambar 4. 13 Respon Frekuensi Saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,35% pada detik ke 2,301 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-2 sebesar 15 MW. Sistem kembali *steady state* pada 99,37% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 14 Respon Tegangan Saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 95,41% dan kembali stabil pada 96,68 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 98,47% dan kembali stabil pada 99,86%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 98,48% dan kembali stabil pada 99,89%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 98,67% dan kembali stabil pada 99,89%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 98,81% dan kembali stabil pada 99,71%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,66% dan kembali stabil pada 99,76%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 99,07% dan kembali stabil pada 99,97%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 15 Respon Sudut Rotor Saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem

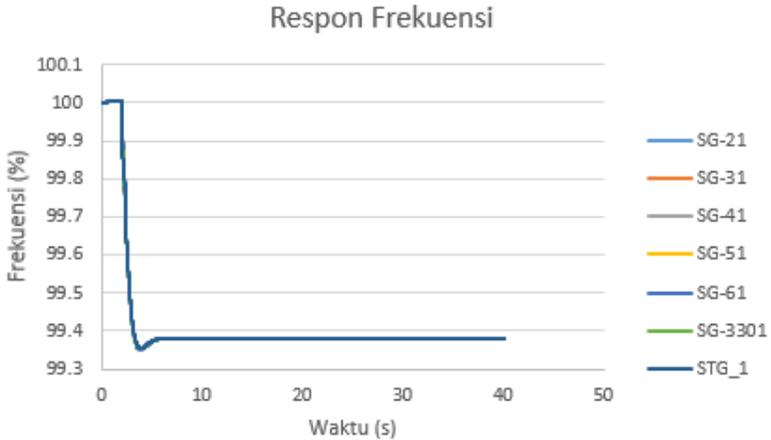
Gambar 4.15 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-2 *outage*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $13,62^{\circ}$ dan kembali stabil pada $8,54^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $15,69^{\circ}$ dan kembali stabil pada $10,45^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor hingga $15,37^{\circ}$ dan kembali stabil pada $10,3^{\circ}$. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-2 *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.3.1.6 Studi Kasus CASE B, Gen P-3 OFF: Generator P-3 *Outage* dari Sistem ($t=2s$)

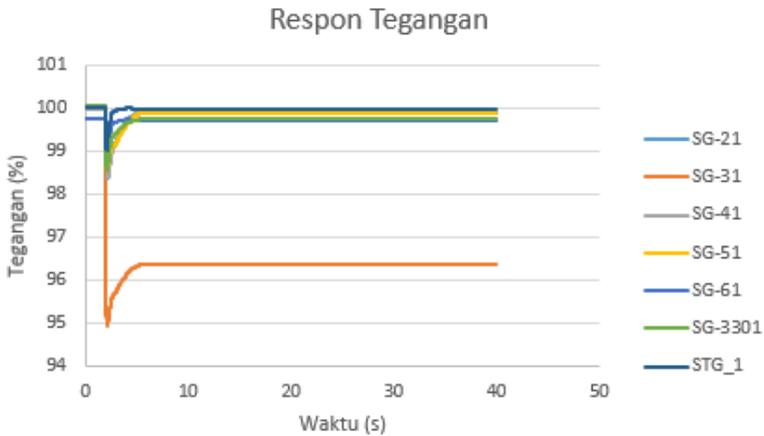
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-3 *OFF* dan 4 generator lainnya *ON* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator

disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



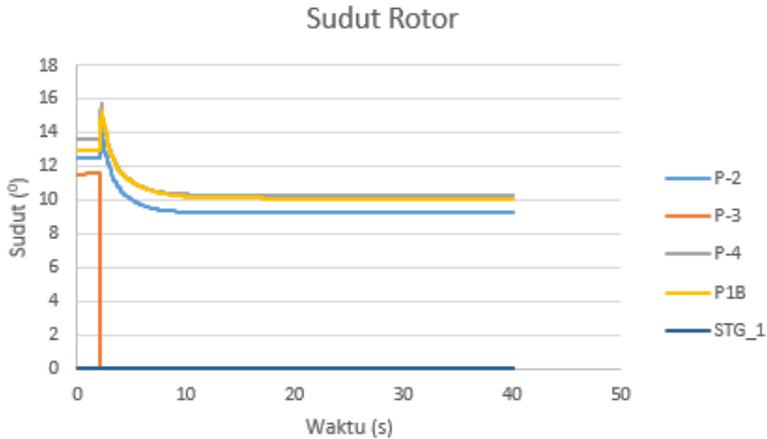
Gambar 4. 16 Respon Frekuensi Saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,35% pada detik ke 2,301 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-3 sebesar 15 MW. Sistem kembali *steady state* pada 99,37% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 17 Respon Tegangan Saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 98,36% dan kembali stabil pada 99,89 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 94,94% dan kembali stabil pada 96,35%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 98,34% dan kembali stabil pada 99,88%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 98,51% dan kembali stabil pada 99,89%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 98,73% dan kembali stabil pada 99,70%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,52% dan kembali stabil pada 99,72%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 98,98% dan kembali stabil pada 99,97%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 18 Respon Tegangan Saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem

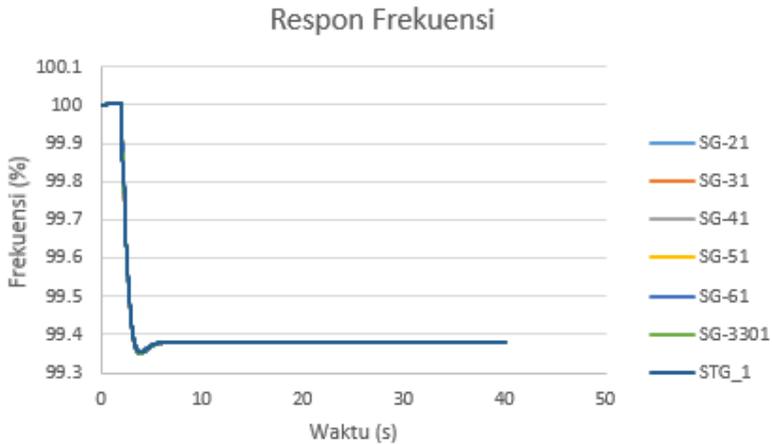
Gambar 4.18 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-3 outage. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga 14,55⁰ dan kembali stabil pada 9,25⁰. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga 15,69⁰ dan kembali stabil pada 10,29⁰. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor hingga 15,34⁰ dan kembali stabil pada 10,11⁰. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-3 *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.3.1.7 Studi Kasus CASE B, Gen P-4 OFF: Generator P-4 Outage dari Sistem ($t=2s$)

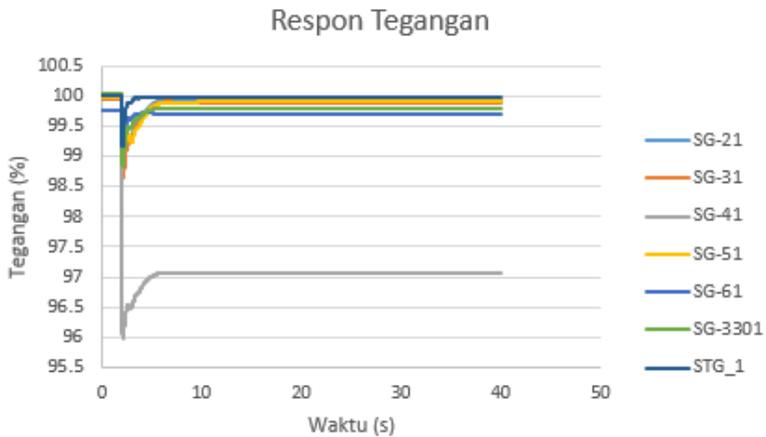
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-3 *OFF* dan 4 generator lainnya *ON* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator

disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



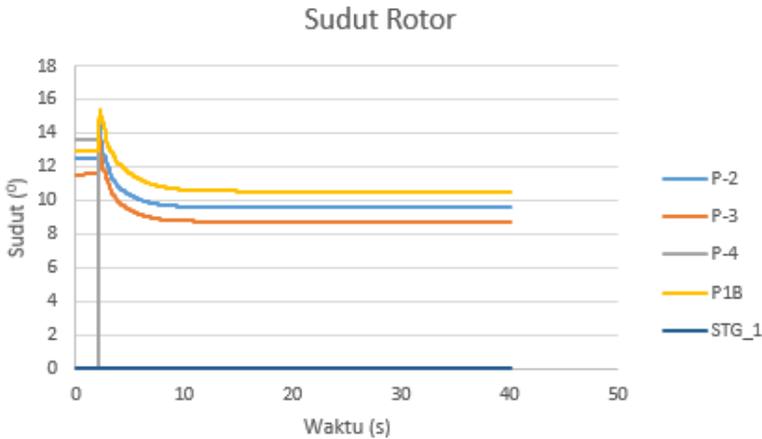
Gambar 4. 19 Respon Frekuensi Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,35% pada detik ke 2,301 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-4 sebesar 15 MW. Sistem kembali *steady state* pada 99,37% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 20 Respon Tegangan Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem

Gambar 4.20 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 98,68% dan kembali stabil pada 99,90 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 98,66% dan kembali stabil pada 99,87%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 95,97% dan kembali stabil pada 97,06%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 98,86% dan kembali stabil pada 99,90%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 98,92% dan kembali stabil pada 99,71%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,84% dan kembali stabil pada 99,79%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 99,18% dan kembali stabil pada 99,97%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 21 Respon Tegangan Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem

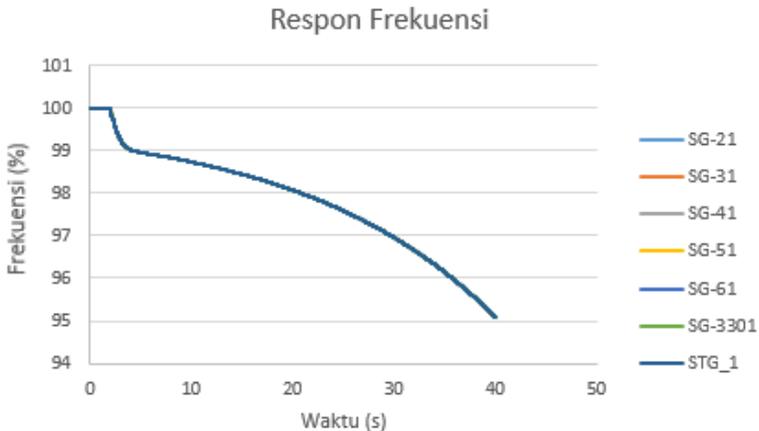
Gambar 4.21 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-4 outage. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $14,53^{\circ}$ dan kembali stabil pada $9,59^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $13,61^{\circ}$ dan kembali stabil pada $8,73^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor hingga $15,40^{\circ}$ dan kembali stabil pada $10,55^{\circ}$. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-4 *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.3.1.8 Studi Kasus CASE B, Gen P-1B OFF: Generator P-1B Outage dari Sistem ($t=2s$)

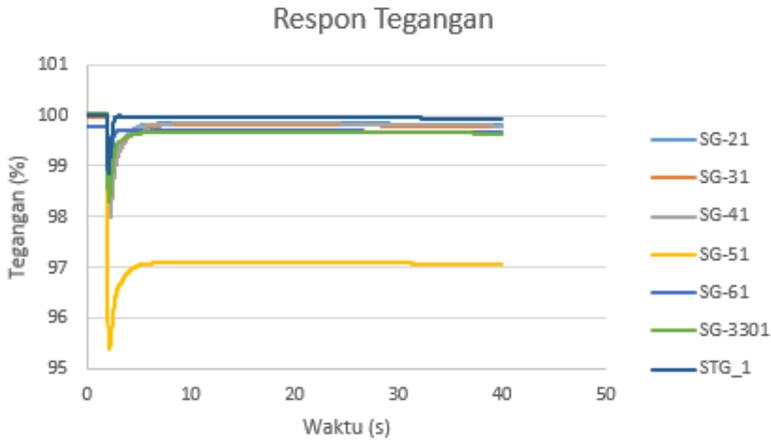
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-3 *OFF* dan 4 generator lainnya *ON* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator

disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



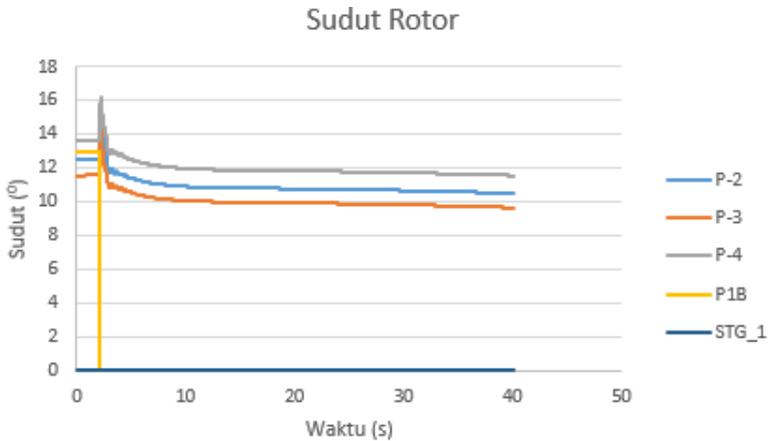
Gambar 4. 22 Respon Frekuensi Saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem

Gambar 4.22 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus setelah detik ke 2 dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-1B dengan total sebesar 22,6 MW. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 23 Respon Tegangan Saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem

Gambar 4.23 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 98,03% dan kembali stabil pada 99,80 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 98,00% dan kembali stabil pada 99,76%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 97,99% dan kembali stabil pada 99,79%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 95,40% dan kembali stabil pada 97,05%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 98,58% dan kembali stabil pada 99,66%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,28% dan kembali stabil pada 99,64%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 98,85% dan kembali stabil pada 99,93%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 24 Respon Tegangan Saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem

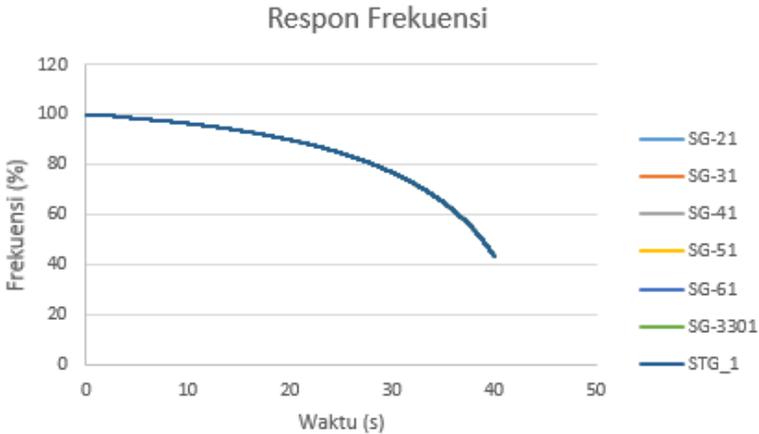
Gambar 4.24 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-1B outage. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $15,10^0$ dan kembali stabil pada $10,49^0$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $14,18^0$ dan kembali stabil pada $9,65^0$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $16,24^0$ dan kembali stabil pada $11,55^0$. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya, akan tetapi respon frekuensi menunjukan bahwa sistem mengalami penurunan yang masih tidak diperkenankan berdasarkan dari standar ANSI/IEEE C37.106-1987. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.

4.3.1.9 Studi Kasus CASE B, Gen STG OFF : Generator STG Outage dari Sistem ($t=2s$)

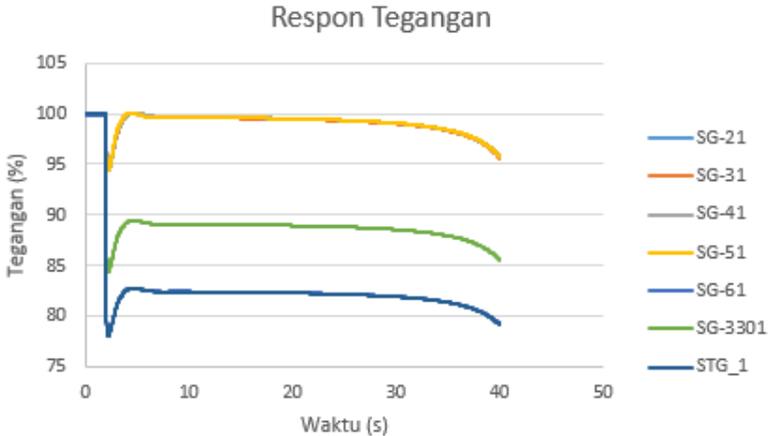
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator STG OFF dan 4 generator lainnya ON pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator

disimulasikan *outage* saat 2 detik setelah sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



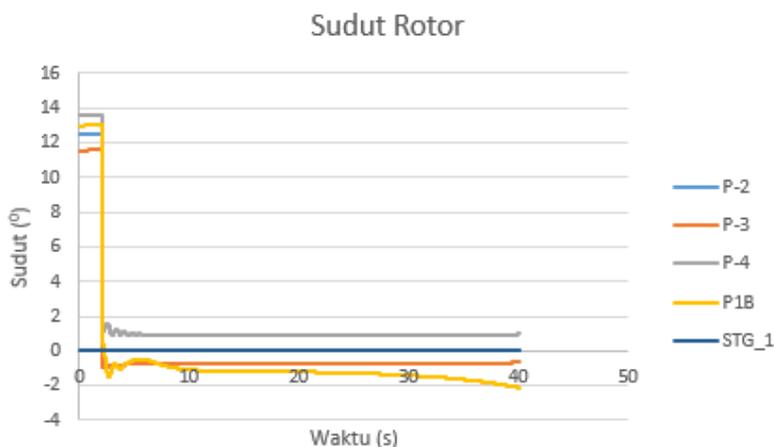
Gambar 4. 25 Respon Frekuensi Saat Generator STG *Outage* dari Sistem

Gambar 4.25 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus setelah detik ke 2 dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator STG dengan total sebesar 38 MW. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 26 Respon Tegangan Saat Generator STG *Outage* dari Sistem

Gambar 4.26 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 94,52%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 94,50%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 94,40%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 94,37%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 78,15%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 84,44%. Bus STG_1 mengalami penurunan hingga 78,12%. Setelah detik 20 masing-masing bus mengalami penurunan terus menerus. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 27 Respon Sudut Rotor Saat Generator STG *Outage* dari Sistem

Gambar 4.27 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator STG outage. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut saat detik ke 2 dan menuju 0° . Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor saat detik ke 2 dan kembali stabil pada $-0,67^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor, beresilasi setelah detik ke 2 dan kembali stabil pada $0,97^{\circ}$. Generator P-1B beresilasi setelah detik ke 2 dan tidak dapat mencapai kestabilan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

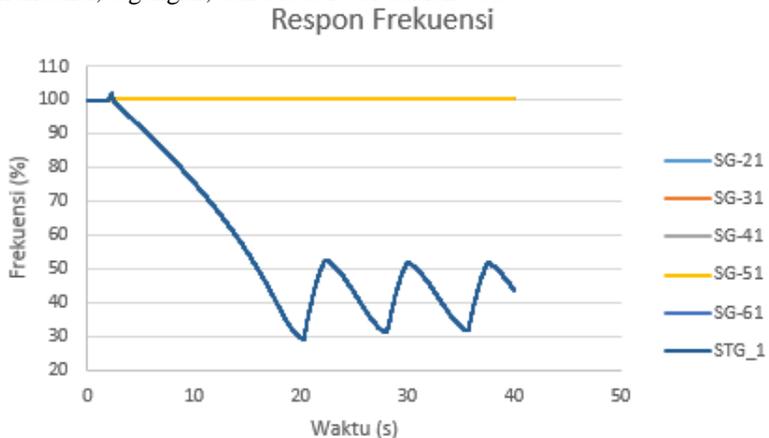
Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator STG *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

4.3.2 Simulasi Kestabilan Transien Short Circuit

Pada sub bab 4.3.2. akan dilakukan simulasi kestabilan transien untuk studi kasus ketika terjadi *short circuit* pada masing-masing bus pada level tegangan yang berbeda.

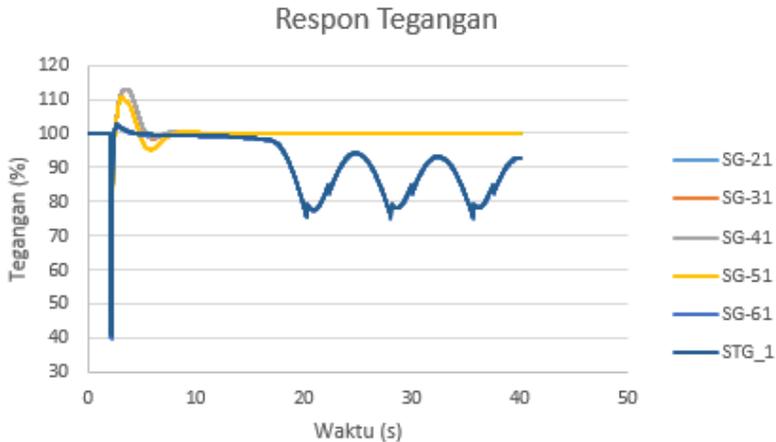
4.3.2.1 Studi Kasus SC 1: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-3301 33 kV ($t=2$ s)

Pada kasus SC 1 disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus 3301 dengan rating tegangan 33 kV pada sistem kelitrikan PT. Pusri Palembang. *CB* SG-3301 IN dan *CB* SG-3301 OUT *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem *Setting relay* waktu *CB* saat $t=0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu sensing dan waktu *open circuit breaker*). Generator P1B dilakukan perubahan pola operasi dari *Voltage Control* menjadi *Swing*. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.



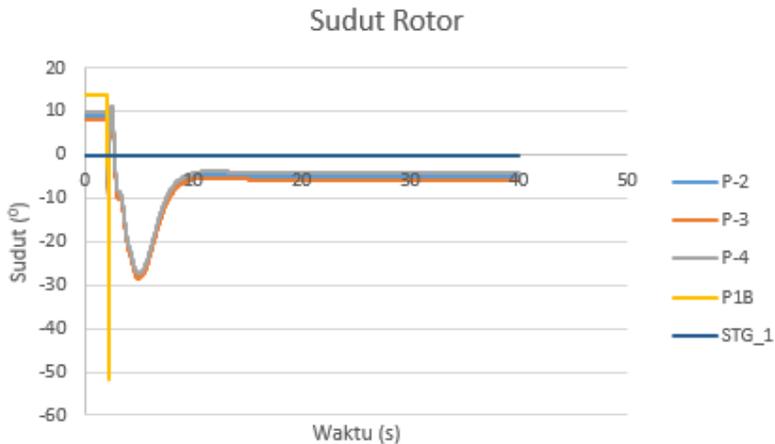
Gambar 4. 28 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301

Gambar 4.28 menunjukkan respon frekuensi bus pada saat hubung singkat bus SG3301 diikuti *CB* open pada $t = 0,3$ s. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada *plant* lama P-2, P-3, P-4, dan P-1B relatif stabil, akan tetapi pada *plant* baru STG dan P-2B mengalami penurunan dan kemudian beresilasi. Penurunan frekuensi terendah mencapai 29,08% pada detik ke 20,2 s. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.



Gambar 4.29 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301

Gambar 4.29 Menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus SG 3301 diikuti *CB* open pada $t = 0,3$ s. menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 69,65% dan kembali stabil pada 100,08%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 69,69% dan kembali stabil pada 100,07%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 69,59% dan kembali stabil pada 100,12%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 64,05% dan kembali stabil pada 100,03%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 39,89% dan kemudian beresilasi terus-menerus setelah detik ke-20. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 40,81% dan dan kemudian beresilasi terus-menerus setelah detik ke-20. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini tidak diperkenankan.



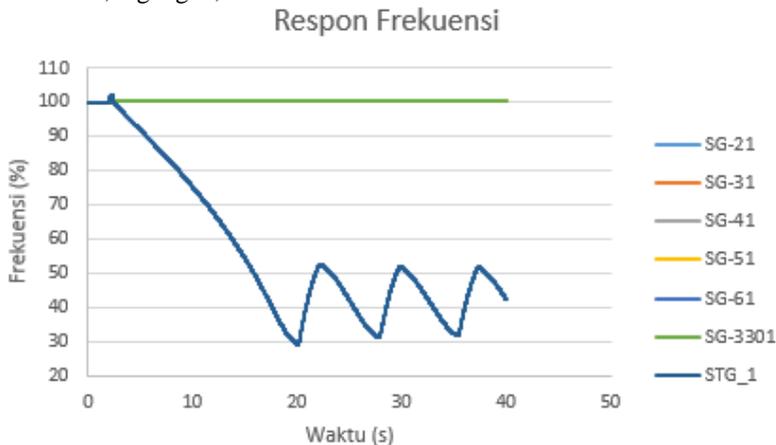
Gambar 4.30 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301

Gambar 4.30 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat *SC* di BUS SG 3301. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-47,72^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,97^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $14,18^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-5,77^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $16,24^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,22^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator STG *outage*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

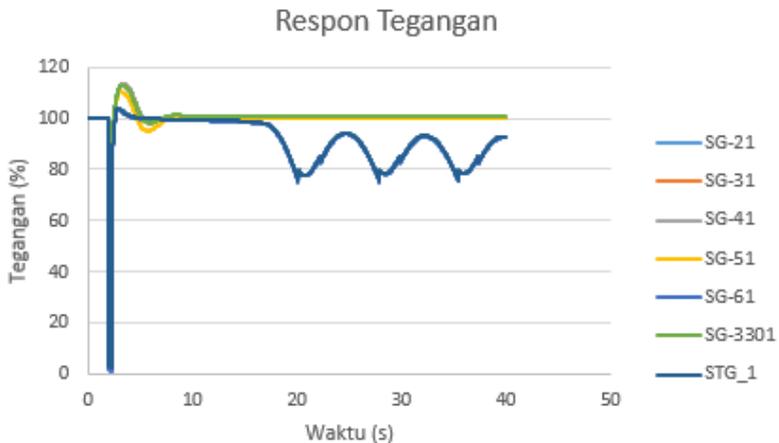
4.3.2.2 Studi Kasus SC 2: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-SB 13,8 kV ($t=2$ s)

Pada kasus SC 2 disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus SG-SB dengan rating tegangan 13,8 kV pada sistem kelitrikan PT. Pusri Palembang. CB 280, CB 278 dan CB 52-TSTG1-01 *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem *Setting relay* waktu CB saat $t= 0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu *sensing* dan waktu *open circuit breaker*). Generator PIB dilakukan perubahan pola operasi dari *Voltage Control* menjadi *Swing*. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.



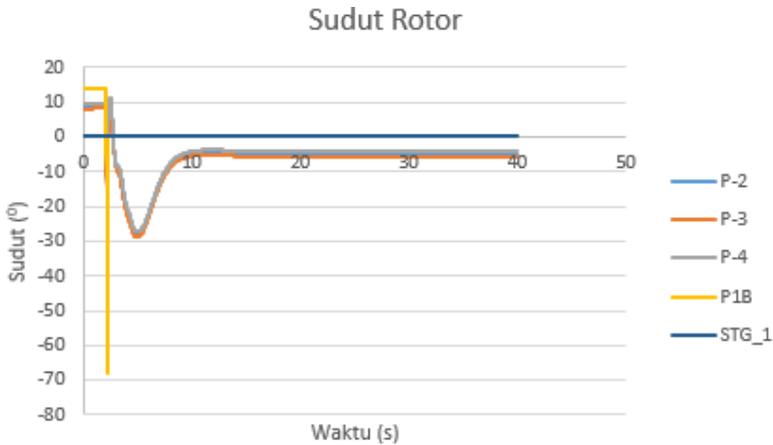
Gambar 4. 31 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB

Gambar 4.31 Menunjukkan respon frekuensi bus pada saat hubung singkat bus SG-SB diikuti CB open pada $t = 0,3$ s. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada *plant* lama P-2, P-3, P-4, dan P-1B relatif stabil, akan tetapi pada *plant* baru STG dan P-2B mengalami penurunan dan kemudian berosilasi. Penurunan frekuensi terendah mencapai 28,99% pada detik ke 20,12 s. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.



Gambar 4. 32 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB

Gambar 4.32 menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus SG-SB diikuti *CB* open pada $t = 0,3$ s. menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 78,41% dan kembali stabil pada 100,09%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 78,37% dan kembali stabil pada 100,08%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 78,50% dan kembali stabil pada 100,12%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 74,97% dan kembali stabil pada 100,04%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 1,34% dan kemudian beresilasi terus-menerus setelah detik ke-20. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 31,71% dan kembali stabil pada 100,76%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 2,88% dan dan kemudian beresilasi terus-menerus setelah detik ke-20. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini tidak diperkenankan.



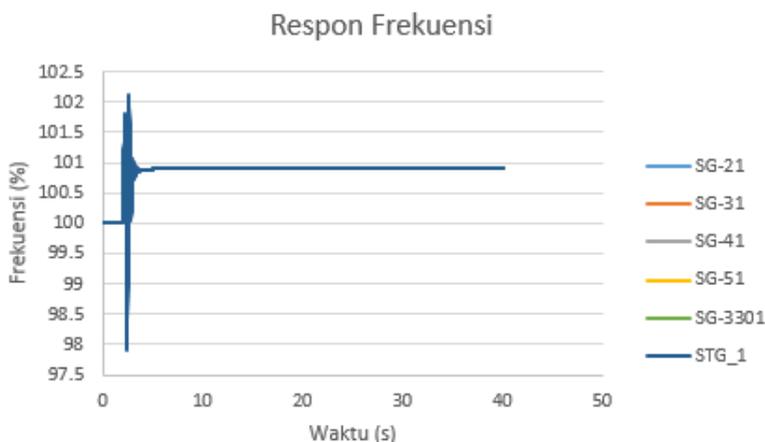
Gambar 4.33 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB

Gambar 4.33 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat SC di BUS SG-SB. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-66,66^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,97^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-67,69^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-5,77^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-46,79^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,22^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus hubung singkat pada bus SG-SB. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

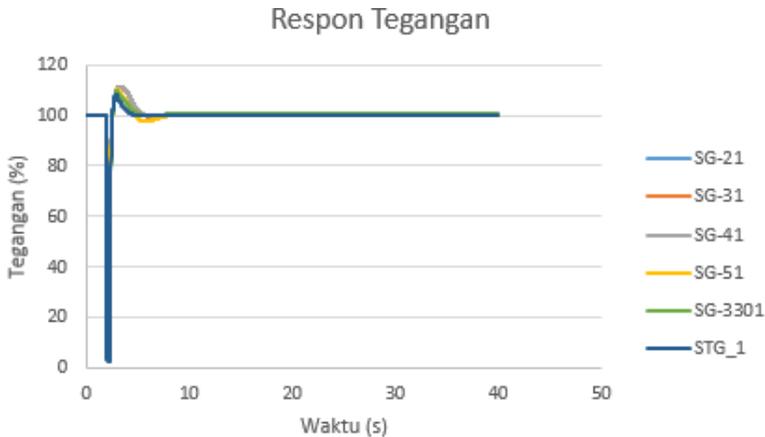
4.3.2.3 Studi Kasus SC 3: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-61 13,8 kV ($t=2$ s)

Pada kasus SC 3 disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus SG-61 dengan rating tegangan 13,8 kV pada sistem kelitrikan PT. Pusri Palembang. CB 52-SG-61-I2(4) dan CB 52-SG-61-I2(6) *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem *Setting relay* waktu CB saat $t=0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu *sensing* dan waktu *open circuit breaker*). Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.



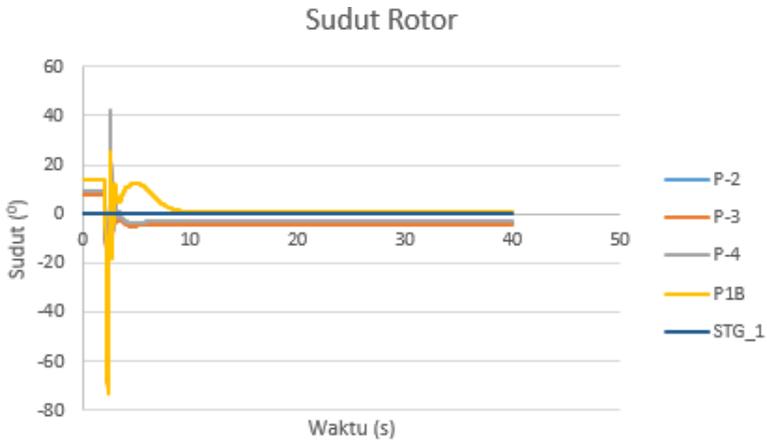
Gambar 4. 34 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-61

Gambar 4.34 Menunjukkan respon frekuensi bus pada saat hubung singkat bus SG-61 diikuti CB open pada $t = 0,3$ s. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada *plant* lama P-2, P-3, P-4, dan P-1B relatif stabil, akan tetapi pada *plant* baru STG beresilasi kemudian stabil. Penurunan frekuensi terendah mencapai 97,8% pada detik ke 20,12 s. Sistem kembali *steady state* pada 100,8% frekuensi normal. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 35 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-61

Gambar 4.35 Menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus SG 61 diikuti *CB* open pada $t = 0,3$ s. Menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 78,82% dan kembali stabil pada 100,10%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 78,78% dan kembali stabil pada 100,10%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 78,91% dan kembali stabil pada 100,14%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 75,03% dan kembali stabil pada 100,04%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 32,96% dan kembali stabil pada 100,42%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 2,58% dan dan kembali stabil pada 100,15%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih diperkenankan. Dengan kondisi koil kontaktor *CB* tidak dihubungkan dengan bus secara langsung melainkan dihubungkan dengan UPS atau sumber lain dan mengubah setting relay *undervoltage* menjadi lebih lama 0,2 s dari sebelumnya.



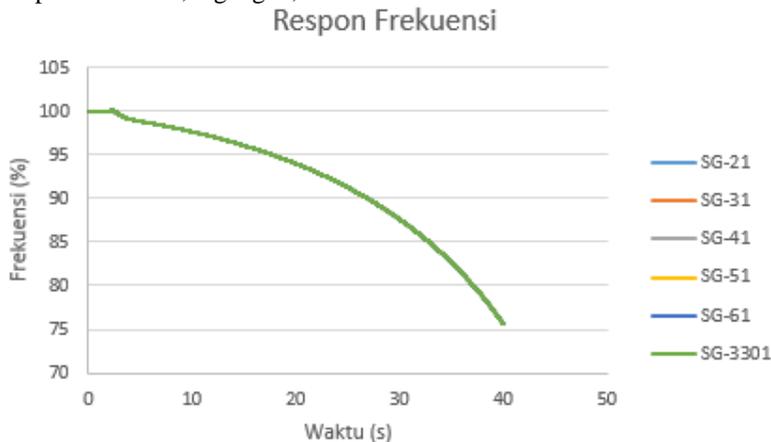
Gambar 4. 36 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-61

Gambar 4.36 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat SC di BUS SG-61. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-66,66^0$ dan kembali stabil pada $-4,97^0$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-67,69^0$ dan kembali stabil pada $-5,77^0$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-65,54^0$ dan kembali stabil pada $-4,22^0$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus hubung singkat pada Bus SG-61. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon akan tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

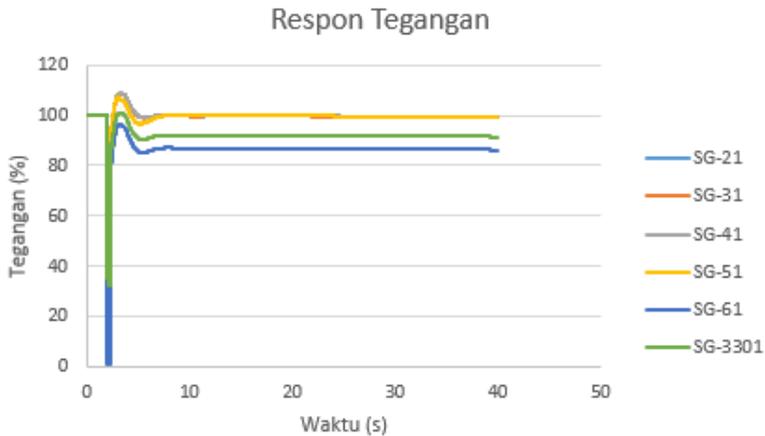
4.3.2.4 Studi Kasus SC 4: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus STG_1 13,8 kV ($t=2$ s)

Pada kasus SC 4 disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus STG_1 dengan rating tegangan 13,8 kV pada sistem kelitrikan PT. Pusri Palembang. CB 52-S-STG1-1, CB 52-S-STG1-2 dan CB 52-S-STG1-I *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem *Setting relay* waktu CB saat $t= 0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu *sensing* dan waktu *open circuit breaker*). Generator P1B dilakukan perubahan pola operasi dari *Voltage Control* menjadi *Swing*. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.



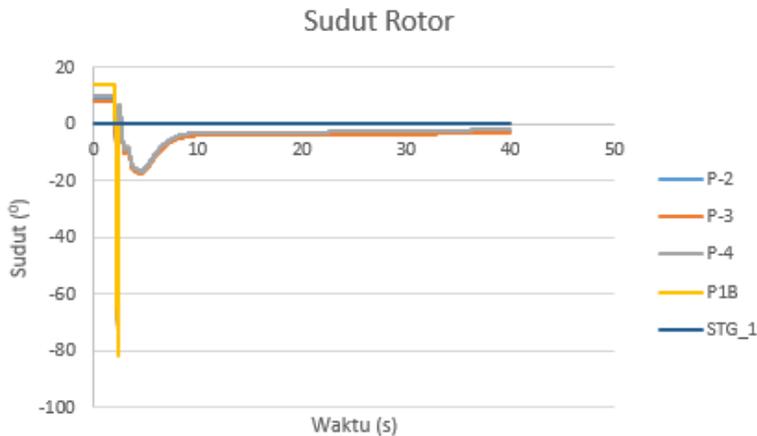
Gambar 4. 37 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1

Gambar 4.37 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan terus-menerus setelah detik ke 2 dan sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terjadi karena terjadi hubung singkat pada bus STG_1 sehingga suplai daya dari generator STG terputus dengan total sebesar 38 MW. Sehingga ketika sistem mengalami gangguan seperti studi kasus ini tidak akan didapatkan kondisi *steady state*. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini tidak diperkenankan, sehingga dibutuhkan mekanisme *Load shedding*.



Gambar 4. 38 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1

Gambar 4.38 menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus STG_1 diikuti *CB* open pada $t = 0,3$ s. Menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 78,71% dan kembali stabil pada 99,17%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 78,67% dan kembali stabil pada 99,16%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 78,80% dan kembali stabil pada 99,20%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 75,23% dan kembali stabil pada 99,16%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 0,79% dan kembali stabil pada 86,19%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 32,60% dan dan kembali stabil pada 100,15%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih diperkenankan. Dengan kondisi koil kontaktor *CB* tidak dihubungkan dengan bus secara langsung melainkan dihubungkan dengan UPS atau sumber lain dan mengubah setting relay *undervoltage* menjadi lebih lama 0,2 s dari sebelumnya.



Gambar 4.39 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1

Gambar 4.39 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat SC di BUS STG_1. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $88,92^0$ dan kembali stabil pada $-2,12^0$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $89,16^0$ dan kembali stabil pada $-3,01^0$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $88,59^0$ dan kembali stabil pada $-1,83^0$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

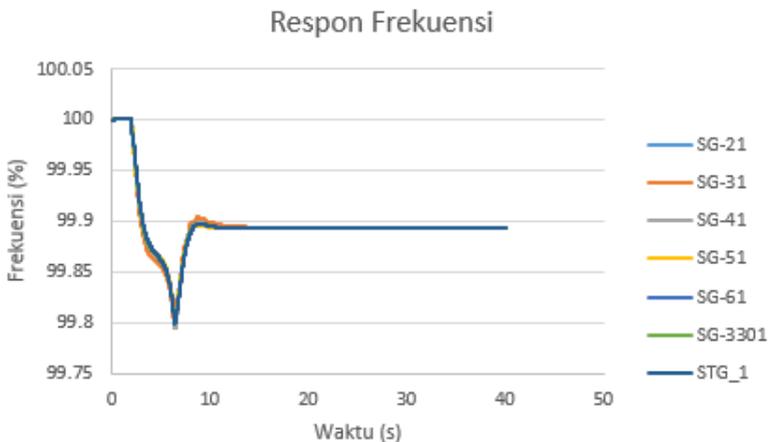
Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus hubung singkat pada bus SG-SB. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon. Menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi tidak diperkenankan. Sehingga dibutuhkan mekanisme *Load Shedding*.

4.3.3 Simulasi Kestabilan Transien Motor Starting

Pada sub bab 4.3.3. akan dilakukan simulasi kestabilan transien untuk studi kasus ketika terjadi *starting motor* dengan kapasitas yang terbesar.

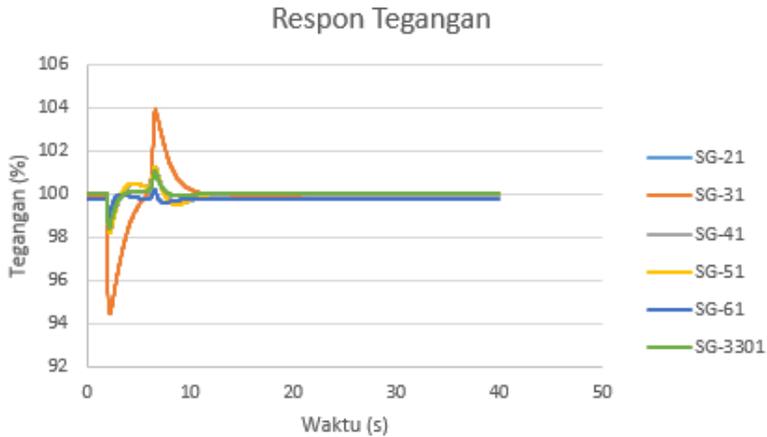
4.3.3.1 Studi Kasus Motor 101-J1' Start

Pada kasus ini akan disimulasikan, motor dengan ID 101-J1' yang berkapasitas 2200 kW starting dengan metode *direct-online* pada detik ke-2 di sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Pada simulasi waktu *CB* motor ON saat $t = 2$ s. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.



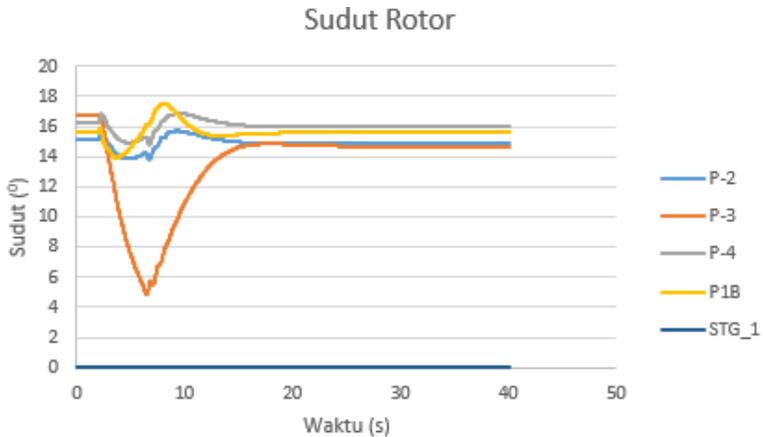
Gambar 4. 40 Respon Frekuensi saat *Starting Motor* 101-J1'

Gambar 4.40 menunjukkan bahwa respon frekuensi bus pada saat 101-J1' *start* pada $t = 2$ s. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,79% pada detik ke 6,3 s. Sistem kembali *steady state* pada 99,89% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 osilasi frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 41 Respon Tegangan saat *Starting* Motor 101-J1'

Gambar 4.41 menunjukkan respon tegangan masing-masing bus pada saat 101-J1' *start* pada $t = 2$ s. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 98,30% dan kembali stabil pada 99,98%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 94,44% dan kembali stabil pada 99,92%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 98,27% dan kembali stabil pada 99,97%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 98,17% dan kembali stabil pada 99,98%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 98,77% dan kembali stabil pada 99,76%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,38% dan dan kembali stabil pada 100,01%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 99,02% dan dan kembali stabil pada 99,99%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih dalam batas aman.



Gambar 4. 42 Respon Sudut Rotor saat *Starting* Motor 101-J1'

Gambar 4.42 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat 101-J1' *start* pada $t=2s$. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $1,95^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-3,18^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $11,88^{\circ}$ dan kembali stabil pada -4° . Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $2,08^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-2,39^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor hingga $3,56^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-2,39^{\circ}$. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus Motor *Starting* 101-J1'. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon akan tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.3.4 Rekapitulasi Data

4.3.4.1 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Generator Outage

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Generator Outage

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
CASE A							
P-2 OFF	0	0	SG-21	0	0	X	X
			SG-31	0	0		X
			SG-41	0	0		X
			SG-51	0	0		X
			SG-61	0	0		X
			SG-3301	0	0		X
			STG_1	0	0		X
P-3 OFF	0	0	SG-21	0	0	X	X
			SG-31	0	0		X
			SG-41	0	0		X
			SG-51	0	0		X
			SG-61	0	0		X
			SG-3301	0	0		X
			STG_1	0	0		X
P-4 OFF	0	0	SG-21	0	0	X	X
			SG-31	0	0		X
			SG-41	0	0		X
			SG-51	0	0		X
			SG-61	0	0		X
			SG-3301	0	0		X
			STG_1	0	0		X

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
P-1B OFF	0	0	SG-21	0	0	X	X
			SG-31	0	0		X
			SG-41	0	0		X
			SG-51	0	0		X
			SG-61	0	0		X
			SG-3301	0	0		X
			STG_1	0	0		X
CASE B							
P-2 OFF	99,35	99,37	SG-21	95,41	96,68	√	√
			SG-31	98,47	99,86		√
			SG-41	98,48	99,89		√
			SG-51	98,67	99,89		√
			SG-61	98,81	99,71		√
			SG-3301	98,66	99,76		√
			STG_1	99,07	99,97		√
P-3 OFF	99,35	99,47	SG-21	98,36	99,89	√	√
			SG-31	94,94	96,35		√
			SG-41	98,34	99,88		√
			SG-51	98,51	99,89		√
			SG-61	98,73	99,70		√
			SG-3301	98,52	99,72		√
			STG_1	98,98	99,97		√
P-4 OFF	99,35	99,37	SG-21	98,68	99,90	√	√
			SG-31	98,66	99,87		√
			SG-41	95,97	97,06		√
			SG-51	98,86	99,90		√
			SG-61	98,92	99,71		√

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
			SG-3301	98,84	99,79		√
			STG_1	99,18	99,97		√
P-1B OFF	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	SG-21	98,03	99,80	X	√
			SG-31	98,00	99,76		√
			SG-41	97,99	99,79		√
			SG-51	95,40	97,05		√
			SG-61	98,58	99,66		√
			SG-3301	98,28	99,64		√
			STG_1	98,85	99,93		√
STG OFF	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	SG-21	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	X	X
			SG-31	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			SG-41	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			SG-51	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			SG-61	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			SG-3301	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			STG_1	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X

Tabel 4.2 diatas menunjukkan respon frekuensi dan tegangan saat terjadi kasus generator *outage*. Respon frekuensi dan tegangan dari beberapa kasus tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak dapat mencapai kestabilan sehingga perlu dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Kasus yang perlu dilakukan *Load Shedding* antara lain pada Case A (P2-OFF, P3-OFF, P4-OFF, dan P1B-OFF) dan Case B (P1B-OFF dan STG-OFF).

4.3.4.2 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Short Circuit

Tabel 4. 3 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Short Circuit

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
SC 1 (SG-3301)	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	SG-21	69,65	100,08	X	√
			SG-31	69,69	100,07		√
			SG-41	69,59	100,12		√
			SG-51	64,05	100,03		√
			SG-61	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			STG_1	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
SC 2 (SG-SB)	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	SG-21	74,41	100,09	X	√
			SG-31	78,37	100,08		√
			SG-41	78,50	100,12		√
			SG-51	74,97	100,04		√
			SG-61	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL		X
			SG-3301	37,71	100,76		√
			STG_1	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	X	
SC 3 (SG-61)	97,80	100,81	SG-21	78,82	100,10	√	√
			SG-31	78,78	100,10		√
			SG-41	78,91	100,14		√
			SG-51	74,03	100,04		√
			SG-3301	32,96	100,42		√
			STG_1	2,58	100,15		√
SC 4 (STG_1)	TIDAK STABIL	TIDAK STABIL	SG-21	78,71	99,17	X	√
			SG-31	78,67	99,16		√
			SG-41	78,80	99,20		√
			SG-51	75,23	99,16		√
			SG-3301	0,79	86,19		X
			STG_1	32,60	100,15		√

Tabel 4.3 diatas menunjukkan respon frekuensi dan tegangan saat terjadi kasus *Short Circuit*. Respon frekuensi dan tegangan dari beberapa kasus tersebut menunjukkan bahwa sistem tidak dapat mencapai kestabilan sehingga perlu dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Kasus yang perlu dilakukan *Load Shedding* antara lain pada SC 1 (SG-3301), SC 2 (SG-SB), dan SC 4 (STG-1)

4.3.4.3 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Motor Starting

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Motor Starting

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
Motor Starting 101-J1'	99,79	99,89	SG-21	98,30	99,98	√	√
			SG-31	94,44	99,92		√
			SG-41	98,27	99,97		√
			SG-51	98,17	99,98		√
			SG-61	98,77	99,76		√
			SG-3301	98,38	100,01		√
			STG_1	99,02	99,99		√

Tabel 4.4 diatas menunjukkan respon frekuensi dan tegangan saat terjadi kasus *Motor Starting*. Respon frekuensi dan tegangan dari kasus tersebut menunjukkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

4.4 Studi Kasus Kestabilan Transien, Mekanisme Load Shedding

Pada studi kasus sebelumnya dilakukan simulasi pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang tentang generator *outage*, *short cicuit*, dan motor *starting*. Beberapa kasus pada generator *outage* dan *short circuit* menunjukkan bahwa sitem tidak dapat mencapai kestabilan setelah mengalami gangguan tersebut dan tidak memenuhi standar IEEE Std. C37.106-2003. Sehingga pada beberapa kasus tersebut perlu dilakukan mekanisme *Load Shedding*.

Tabel 4.5 dibawah menunjukkan studi kasus generator *outage* dan *short circuit* yang akan dilakukan mekanisme *Load Shedding*.

Tabel 4. 5 Studi Kasus Kestabilan Transien, Mekanisme Load Shedding

No	Kasus	Keterangan
	CASE A	Plant P2B terhubung, STG belum
1.	Gen P-2 OFF + LS	Generator P-2 <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>Load Shedding</i>
2.	Gen P-3 OFF + LS	Generator P-3 <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>Load Shedding</i>
3.	Gen P-4 OFF + LS	Generator P-4 <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>Load Shedding</i>
4.	Gen P-1B OFF + LS	Generator P-1B <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>Load Shedding</i>
	CASE B	Plant P2b dan STG terhubung
5.	Gen P-1B OFF + LS	Generator P-1B <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>Load Shedding</i>
6.	Gen STG OFF + LS	Generator STG <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>Load Shedding</i>
7.	SC 1 + LS	Gangguan hubung singkat di bus SG-3301 (33 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya dengan <i>Load Shedding</i>
8.	SC 2 + LS	Gangguan hubung singkat di bus SG_SB (13,8 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya dengan <i>Load Shedding</i>
9.	SC 4 + LS	Gangguan hubung singkat di bus STG-1 (13,8 kV) dilanjutkan dengan <i>CB</i> open setelah gangguan sesuai dengan sistem proteksinya dengan <i>Load Shedding</i>

4.5 Hasil Simulasi Kestabilan Transien, Mekanisme *Load Shedding*

Pada sub ini akan dijelaskan mengenai hasil dari analisis kestabilan transien untuk tiap studi kasus gangguan yang telah ditentukan. Hasil yang akan dianalisis setelah dilakukan mekanisme *Load Shedding* meliputi respon frekuensi dan tegangan dari masing-masing bus yang

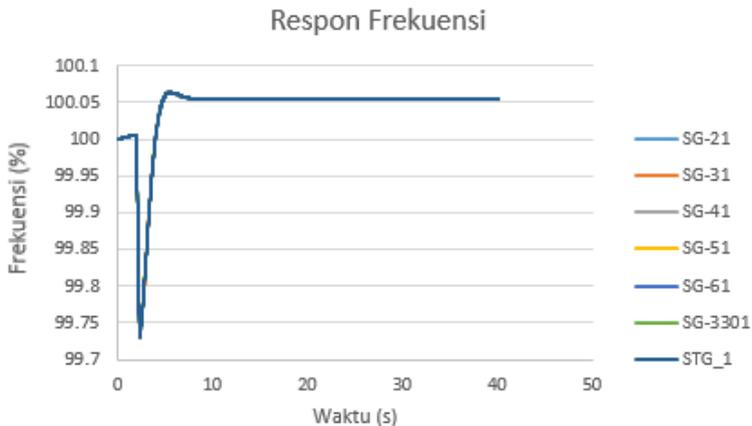
telah ditentukan sebelumnya, dan juga sudut rotor generator yang terinterkoneksi ke sistem.

4.5.1 Simulasi Kestabilan Transien Generator *Outage*, Mekanisme *Load Shedding*

Pada sub bab 4.4.1. akan dilakukan simulasi kestabilan transien untuk studi kasus generator *outage* dengan mekanisme *Load Shedding*.

4.5.1.1 Studi Kasus CASE A, Gen P-2 OFF + LS: Generator P-2 *Outage* dari Sistem ($t=2s$) dengan *Load Shedding*

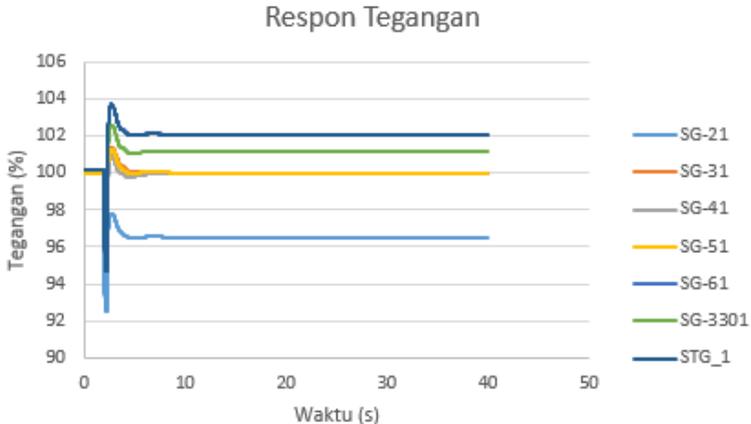
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-2 OFF dan 3 generator lainnya ON diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik dan *Load Shedding* dilakukan saat 2,3 detik, sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



Gambar 4. 43 Respon Frekuensi Saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem dengan mekanisme *Load Shedding*

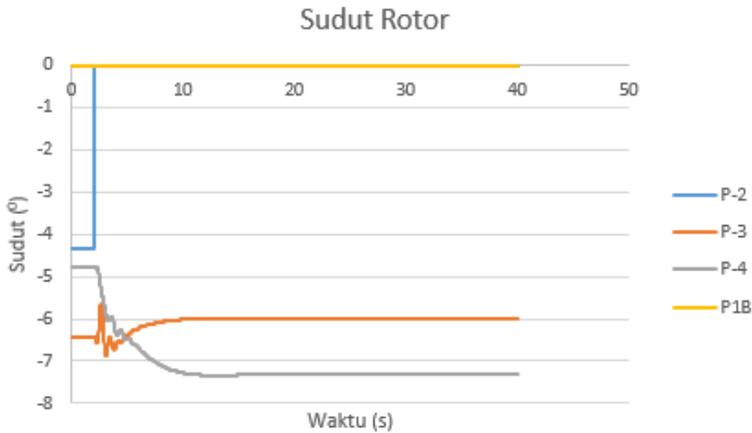
Gambar 4.43 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,72% pada detik ke 2,301 s. Penurunan frekuensi terjadi

karena suplai daya yang hilang dari generator P-2 sebesar 15 MW. Sistem kembali *steady state* pada 100.055% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 44 Respon Tegangan saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem dengan mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.44 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 92,5% dan kembali stabil pada 96,53%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 96,91% dan kembali stabil pada 99,98%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 96,87% dan kembali stabil pada 99,95%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 96,96% dan kembali stabil pada 100,01%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 96,87% dan kembali stabil pada 102,08%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 96,87% dan kembali stabil pada 101,11%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 96,87% dan kembali stabil pada 102,08%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4.45 Respon Sudut Rotor saat Generator P-2 *Outage* dari Sistem dengan mekanisme *Load Shedding*

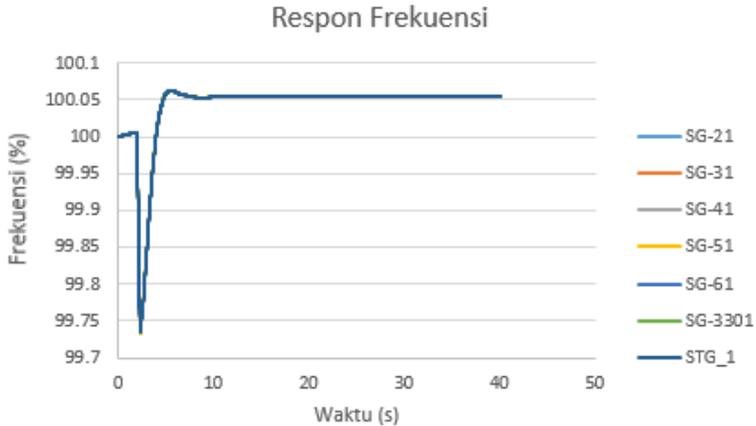
Gambar 4.45 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-2 *outage*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi dengan titik terendah saat antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-6,89^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-6,01^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-7,33^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-7,31^{\circ}$. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-2 *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.1.2 Studi Kasus CASE A, Gen P-3 OFF + LS : Generator P-3 *Outage* dari Sistem ($t=2s$) dengan *Load Shedding*

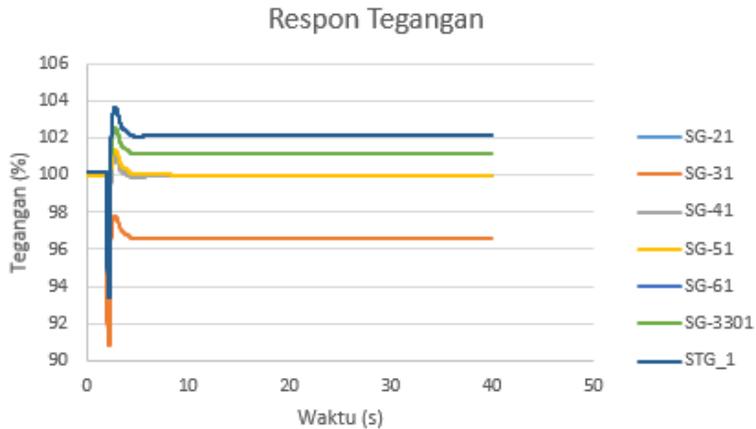
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-3 OFF dan 3 generator lainnya ON diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2

detik dan *Load Shedding* dilakukan saat 2,3 detik, sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



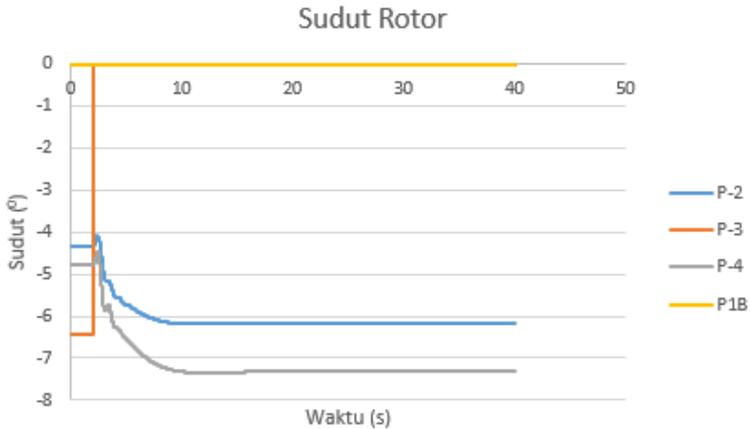
Gambar 4. 46 Respon Frekuensi Saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.46 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,73% pada detik ke 2,30 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-3 dengan total sebesar 15 MW. Sistem kembali *steady state* pada 100,054% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 47 Respon Tegangan saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.47 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 96,29% dan kembali stabil pada 99,97%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 90,86% dan kembali stabil pada 96,59%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 96,20% dan kembali stabil pada 99,95%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 96,23% dan kembali stabil pada 100,01%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 93,43% dan kembali stabil pada 102,01%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 93,95% dan kembali stabil pada 101,13%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 93,42% dan kembali stabil pada 102,1%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 48 Respon Sudut Rotor saat Generator P-3 *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

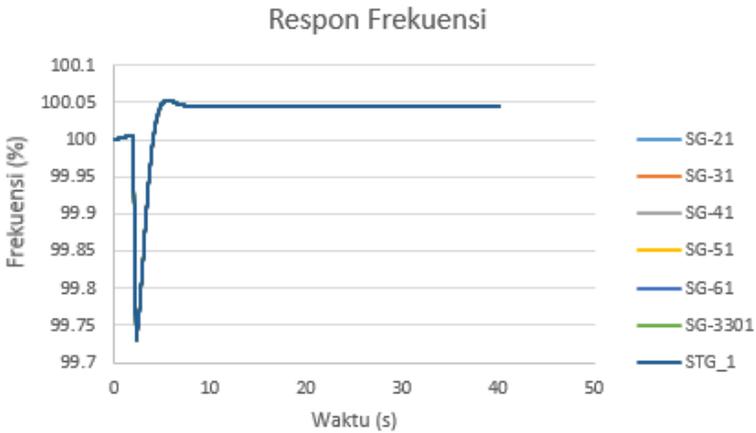
Gambar 4.48 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-3 *outage*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi dengan titik terendah saat antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-4,09^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-6,17^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-4,45^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-7,32^{\circ}$. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-3 *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.1.3 Studi Kasus CASE A, Gen P-4 OFF + LS: Generator P-4 *Outage* dari Sistem ($t=2s$) dengan *Load Shedding*

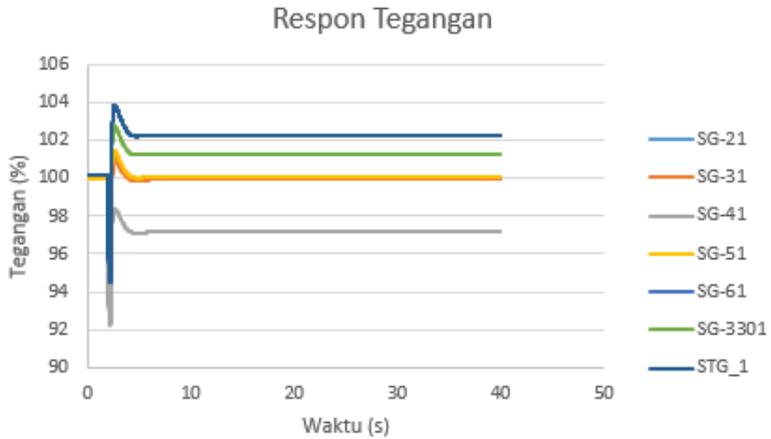
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-4 *OFF* dan 3 generator lainnya *ON* diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2

detik dan *Load Shedding* dilakukan saat 2,3 detik, sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



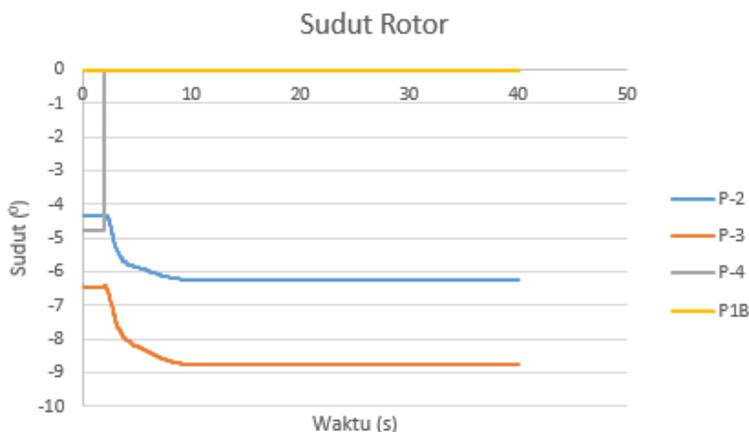
Gambar 4. 49 Respon Frekuensi Saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.49 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,73% pada detik ke 2,3 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-4 dengan total sebesar 15 MW. Sistem kembali *steady state* pada 100,045% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 50 Respon Tegangan saat Generator P-4 *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.50 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 96,29% dan kembali stabil pada 99,98 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 90,86% dan kembali stabil pada 99,93%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 96,20% dan kembali stabil pada 97,14%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 96,23% dan kembali stabil pada 100,02%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 93,43% dan kembali stabil pada 102,26%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 93,95% dan kembali stabil pada 101,27%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 93,42% dan kembali stabil pada 102,25%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 51 Respon Sudut Rotor Generator P-4 *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

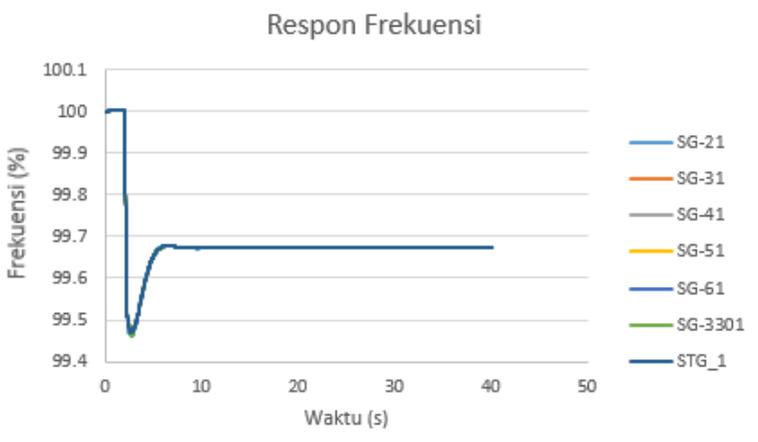
Gambar 4.51 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-4 *outage*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi dengan titik terendah saat antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-4,33^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-6,24^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-6,43^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-8,76^{\circ}$. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-4 *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.1.4 Studi Kasus CASE A, Gen P-1B OFF + LS: Generator P-1B *Outage* dari Sistem ($t=2s$) dengan *Load Shedding*

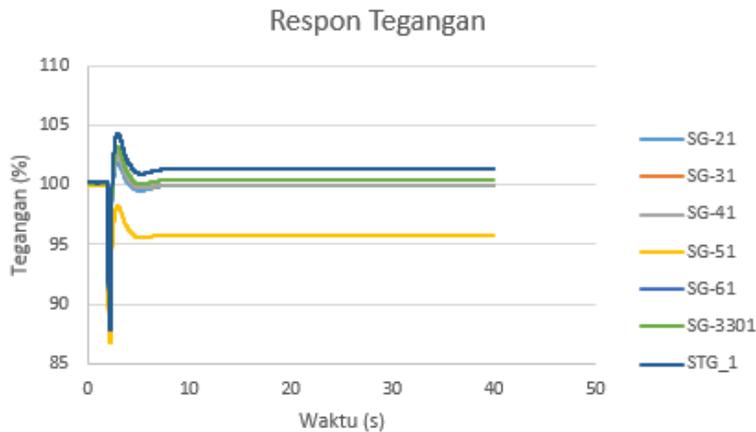
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-1B OFF dan 3 generator lainnya ON diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2

detik dan *Load Shedding* dilakukan saat 2,3 detik, sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



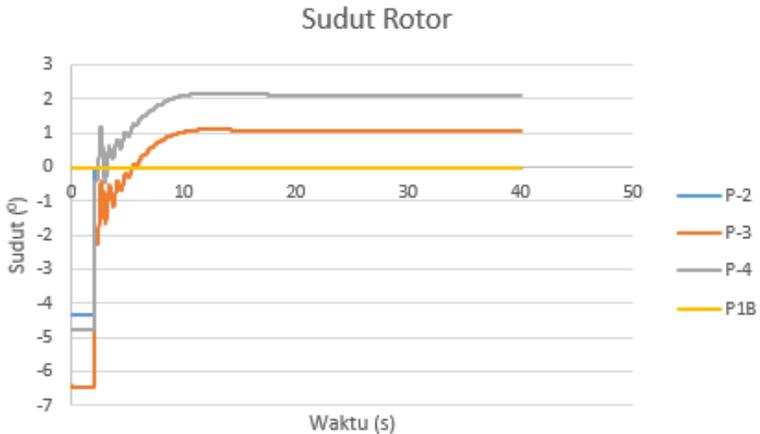
Gambar 4. 52 Respon Frekuensi Saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.52 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,47% pada detik ke 2,76 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-1B dengan total sebesar 22,6 MW. Sistem kembali *steady state* pada 99,67% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 53 Respon Tegangan saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.53 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 93,3% dan kembali stabil pada 99,90 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 93,27% dan kembali stabil pada 99,93%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 93,12% dan kembali stabil pada 99,94%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 86,76% dan kembali stabil pada 95,80%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 87,90% dan kembali stabil pada 101,27%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 88,94% dan kembali stabil pada 100,36%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 87,89% dan kembali stabil pada 101,27%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 54 Respon Sudut Rotor Generator P-1B *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

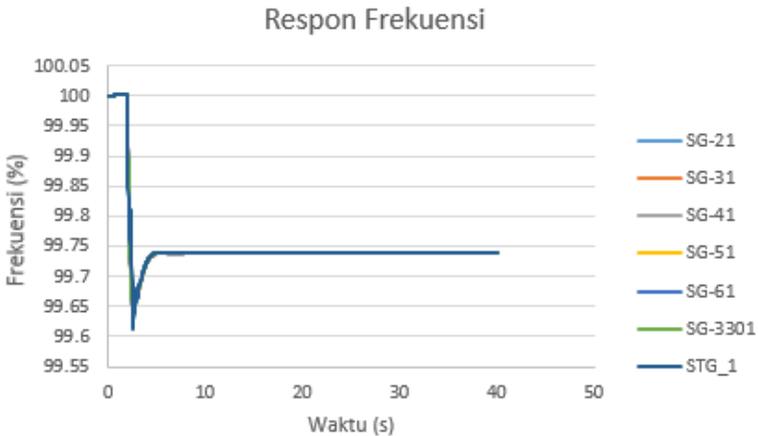
Gambar 4.54 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-1B *outage*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-0,41^{\circ}$ dan kembali stabil pada $1,05^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $1,19^{\circ}$ dan kembali stabil pada $2,13^{\circ}$. Generator P1B relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-1B *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.1.5 Studi Kasus CASE B, Gen P-1B OFF + LS: Generator P-1B *Outage* dari Sistem ($t=2s$) dengan *Load Shedding*

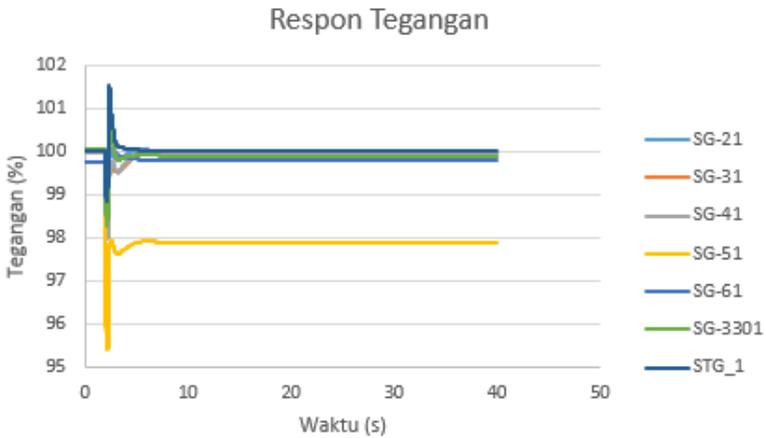
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator P-1B OFF dan 4 generator lainnya ON diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2

detik dan *Load Shedding* dilakukan saat 2,3 detik, sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



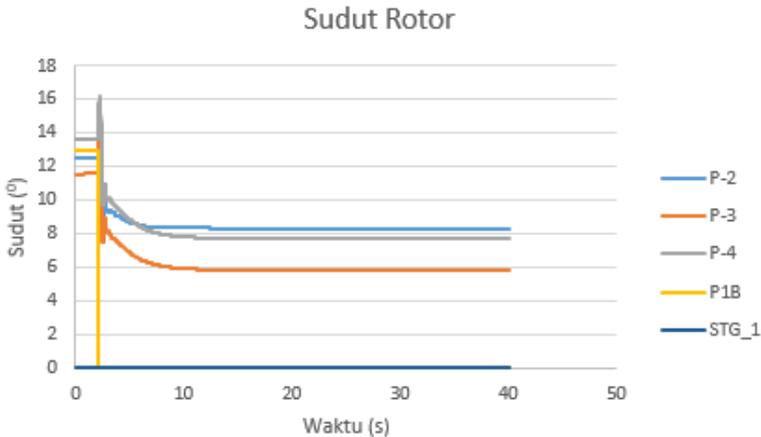
Gambar 4. 55 Respon Frekuensi Saat Generator P1B *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.55 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,61% pada detik ke 2,58 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator P-1B sebesar 22,6 MW. Sistem kembali *steady state* pada 99,73% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 56 Respon Tegangan Saat Generator P-1B dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.56 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 98,03% dan kembali stabil pada 99,95 %. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 98,00% dan kembali stabil pada 99,89%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 97,99% dan kembali stabil pada 99,92%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 95,40% dan kembali stabil pada 97,87%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 98,58% dan kembali stabil pada 99,80%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 98,28% dan kembali stabil pada 99,89%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 98,85% dan kembali stabil pada 100,02%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 57 Respon Sudut Rotor Saat Generator P-1B *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load*

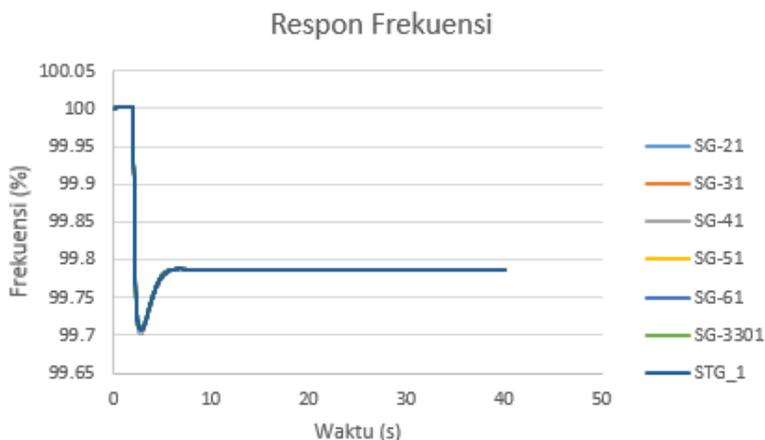
Gambar 4.57 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator P-1B outage. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $15,10^{\circ}$ dan kembali stabil pada $8,28^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $14,18^{\circ}$ dan kembali stabil pada $5,84^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $16,24^{\circ}$ dan kembali stabil pada $7,73^{\circ}$. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator P-1B *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.1.6 *Studi Kasus CASE B, Gen STG OFF + LS: Generator STG Outage dari Sistem (t=2s) dengan Load Shedding*

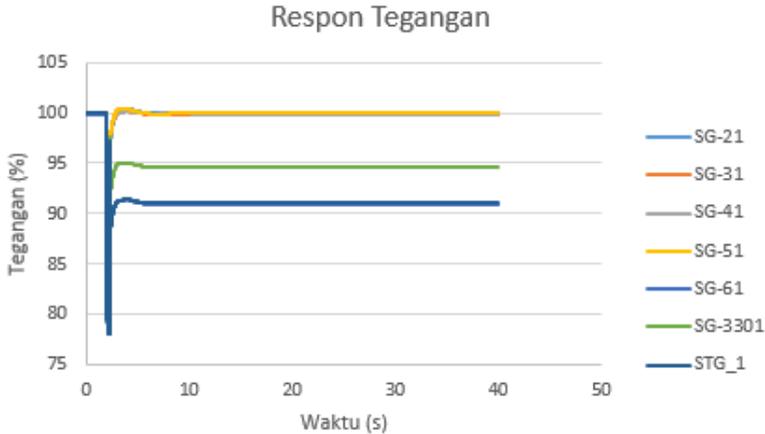
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat generator STG *OFF* dan 4 generator lainnya *ON* diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem

kelistrikan PT. Pusri Palembang. Generator disimulasikan *outage* saat 2 detik dan *Load Shedding* dilakukan saat 2,3 detik, sistem bekerja dengan total waktu simulasi selama 40 detik.



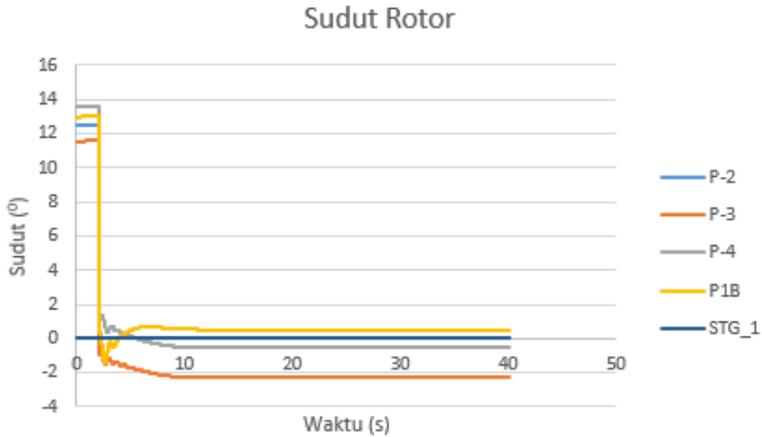
Gambar 4. 58 Respon Frekuensi Saat Generator STG *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.58 menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,70% pada detik ke 2,82 s. Penurunan frekuensi terjadi karena suplai daya yang hilang dari generator STG sebesar 38 MW. Sistem kembali *steady state* pada 99,78% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 59 Respon Tegangan Saat Generator STG *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.59 menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 94,52% dan kembali stabil pada 99,92%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 94,50% dan kembali stabil pada 99,86%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 94,40% dan kembali stabil pada 99,88%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 94,37% dan kembali stabil pada 99,92%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 78,15% dan kembali stabil pada 90,93%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 84,44% dan kembali stabil pada 94,62%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 78,12% dan kembali stabil pada 90,99%. Penurunan tegangan yang terjadi karena beban-beban pada sistem tidak tersuplai secara penuh.



Gambar 4. 60 Respon Sudut Rotor Saat Generator STG *Outage* dari Sistem dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.60 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat generator STG outage. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-3. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor pada saat 2s dan stabil pada 0° . Generator P-3 mengalami osilasi setelah detik ke 2 dan kembali stabil pada $-2,27^{\circ}$. Generator P-4 mengalami osilasi setelah detik ke 2 dan kembali stabil pada $-0,51^{\circ}$. Generator P-1B mengalami osilasi setelah detik ke 2 dan kembali stabil pada $0,50^{\circ}$. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

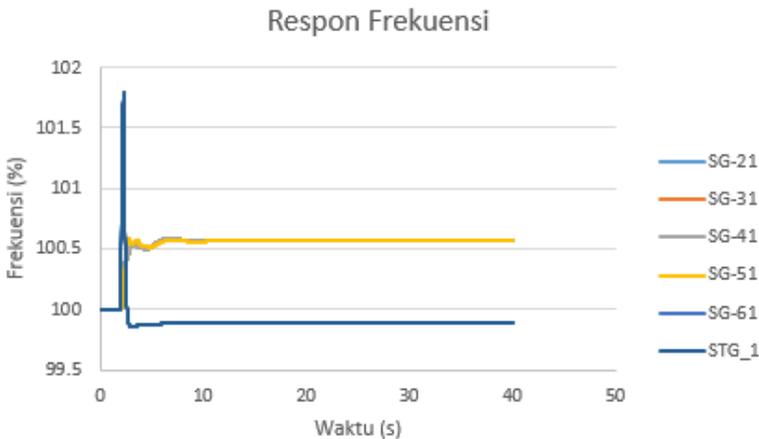
Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator STG *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.2 Simulasi Kestabilan Transien Short Circuit, Mekanisme Load Shedding

Pada sub bab 4.4.2. akan dilakukan simulasi kestabilan transien untuk studi kasus ketika terjadi *short circuit* pada masing-masing bus pada level tegangan yang berbeda dengan mekanisme *Load Shedding*.

4.5.2.1 Studi Kasus SC 1 + LS: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-3301 33 kV ($t=2$ s) dengan Load Shedding

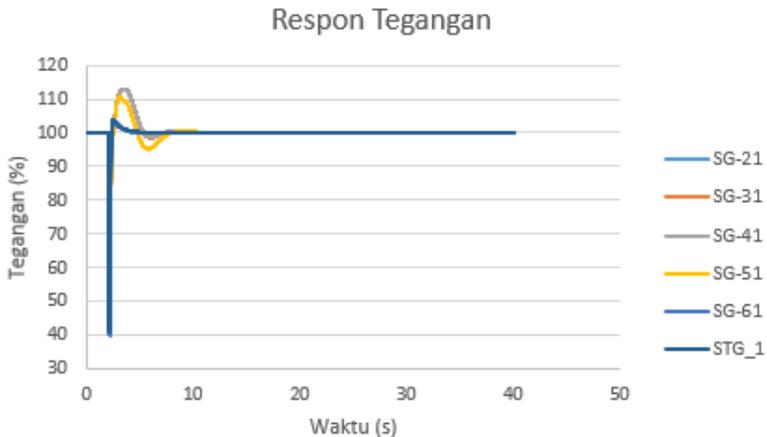
Pada kasus SC 1 + LS disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus 3301 dengan rating tegangan 33 kV diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* kV pada sistem kelitrikan PT. Pusri Palembang. CB SG-3301 IN dan CB SG-3301 OUT *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem. *Setting relay* waktu CB saat $t= 0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu *sensing* dan waktu *open circuit breaker*). Generator PIB dilakukan perubahan pola operasi dari *Voltage Control* menjadi *Swing*. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.



Gambar 4. 61 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301 dengan Mekanisme *Load Shedding*

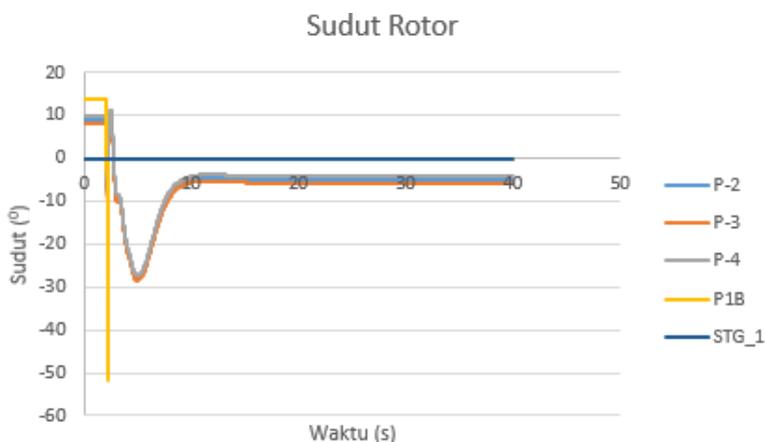
Gambar 4.61 Menunjukkan respon frekuensi bus pada saat hubung singkat bus SG3301 diikuti CB open pada $t = 0,3$ s dengan mekanisme *Load Shedding*. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada

plant lama P-2, P-3, P-4, dan P-1B relatif stabil, sistem kembali steady state pada 100,56% dari frekuensi normal. Pada *plant* baru STG dan P-2B mengalami kenaikan, sistem kembali steady state pada 99,88% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 osilasi frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 62 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG3301 dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.62 Menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus SG 3301 diikuti *CB* open pada $t = 0,3 \text{ s}$ dengan *Load Shedding*. Menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 69,65% dan kembali stabil pada 100,08%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 69,69% dan kembali stabil pada 100,07%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 69,59% dan kembali stabil pada 100,12%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 64,05% dan kembali stabil pada 100,03%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 39,89% kembali stabil pada 99,75%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 40,81% dan dan kembali stabil pada 100,03%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih diperkenankan. Dengan kondisi koil kontaktor *CB* tidak dihubungkan dengan bus secara langsung melainkan dihubungkan dengan UPS atau sumber lain dan melakukan setting relay *undervoltage* menjadi lebih lama 0,2 s dari sebelumnya.



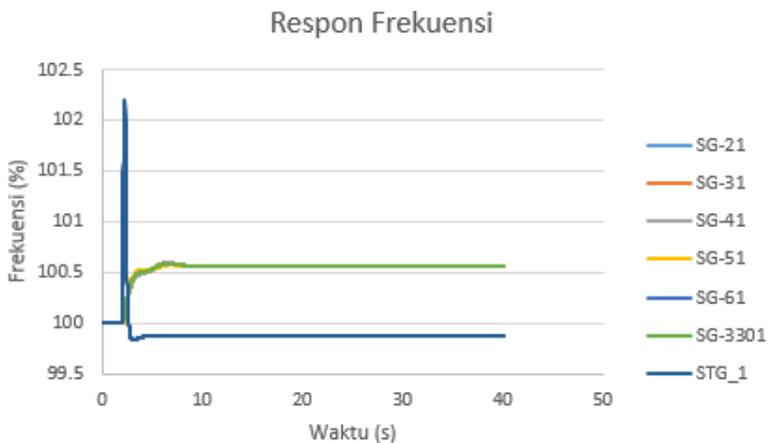
Gambar 4.63 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus Bus SG3301 dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.63 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat SC di BUS SG 3301 dengan mekanisme *Load Shedding*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-47,72^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,97^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $14,18^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-5,77^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $16,24^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,22^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus hubung singkat pada Bus SG3301 dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon akan tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.2.2 Studi Kasus SC 2 + LS: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus SG-SB 13,8 kV ($t=2$ s) dengan Load Shedding

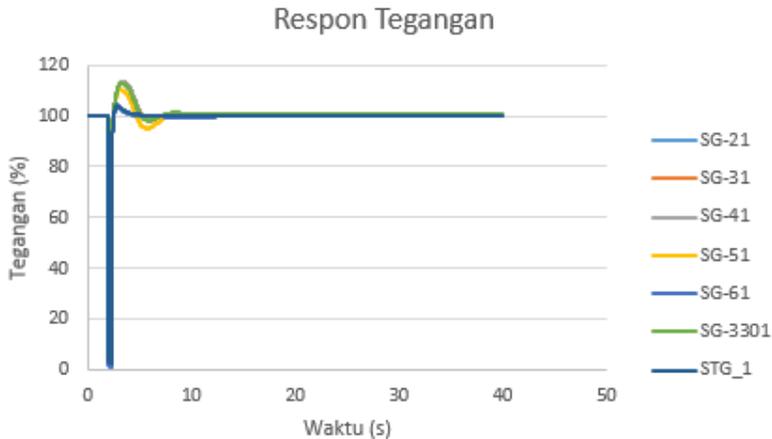
Pada kasus SC 2 + LS disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus SG-SB dengan rating tegangan 13,8 kV diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. CB 280, CB 278 dan CB 52-TSTG1-01 *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem. *Setting relay* waktu CB saat $t=0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu sensing dan waktu *open circuit breaker*). Generator P1B dilakukan perubahan pola operasi dari *Voltage Control* menjadi *Swing*. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40



Gambar 4. 64 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB dengan Mekanisme *Load Shedding*

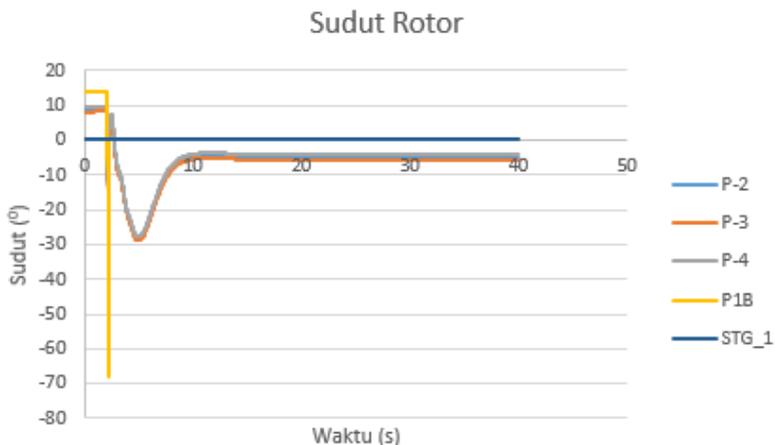
Gambar 4.64 menunjukkan respon frekuensi bus pada saat hubung singkat bus SG-SB diikuti CB open pada $t = 0,3$ s dengan mekanisme *Load Shedding*. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada SG-3301 dan *plant* lama P-2, P-3, P-4, dan P-1B relatif stabil, sistem kembali steady state pada 100,56% dari frekuensi normal. Pada *plant* baru STG dan P-2B mengalami kenaikan, sistem kembali steady state pada 99,88% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-

1987 osilasi frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4. 65 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.65 Menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus SG 3301 diikuti *CB* open pada $t = 0,3 \text{ s}$ dengan *Load Shedding*. Menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 78,41% dan kembali stabil pada 100,08%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 78,37% dan kembali stabil pada 100,07%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 78,50% dan kembali stabil pada 100,12%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 74,96% dan kembali stabil pada 100,03%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 1,34% kembali stabil pada 99,63%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 31,71% dan kembali stabil pada 100,75%. Bus STG_1 mengalami penurunan tegangan hingga 2,88% dan dan kembali stabil pada 100,03%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih diperkenankan. Dengan kondisi koil kontaktor *CB* tidak dihubungkan dengan bus secara langsung melainkan dihubungkan dengan UPS atau sumber lain dan mengubah setting relay *undervoltage* menjadi lebih lama 0,2 s dari sebelumnya.



Gambar 4. 66 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus SG-SB dengan Mekanisme *Load Shedding*

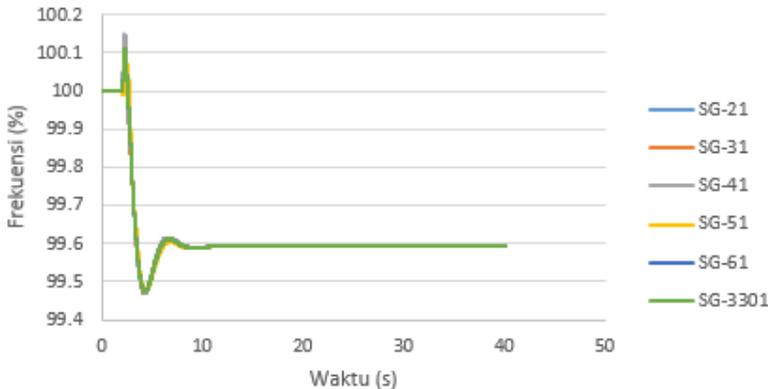
Gambar 4.66 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat *SC* di BUS SG-SB dengan mekanisme *Load Shedding*. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-66,66^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,97^{\circ}$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-67,69^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-5,77^{\circ}$. Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $-65,54^{\circ}$ dan kembali stabil pada $-4,22^{\circ}$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus hubung singkat pada Bus SG-SB dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon akan tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.2.3 Studi Kasus SC 4 + LS: Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa di Bus STG_1 13,8 kV ($t=2$ s) dengan Load Shedding

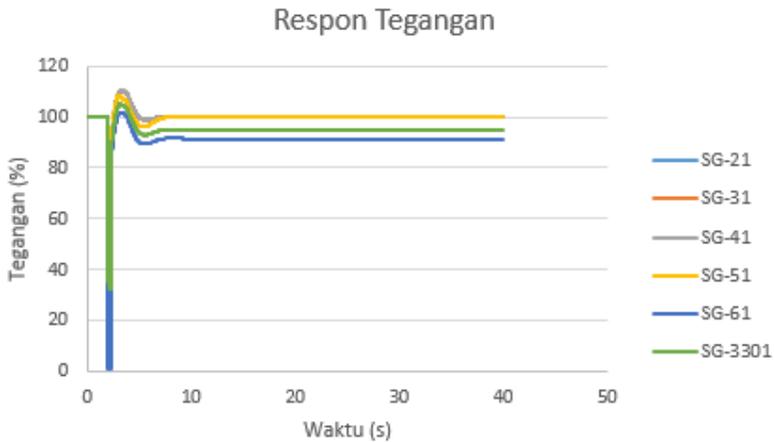
Pada kasus SC 4 + LS disimulasikan sistem mengalami gangguan hubung singkat 3 fasa saat detik ke-2 pada bus STG_1 dengan rating tegangan 13,8 kV diikuti dengan mekanisme *Load Shedding* pada sistem kelistrikan PT. Pusri Palembang. CB 52-S-STG1-1, CB 52-S-STG1-2 dan CB 52-S-STG1-I *open* untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem *Setting relay* waktu CB saat $t=0,3$ detik ($0,1$ s *setting relay* + $0,2$ s waktu *sensing* dan waktu *open circuit breaker*). Generator P1B dilakukan perubahan pola operasi dari *Voltage Control* menjadi *Swing*. Sedangkan pada saat simulasi waktu total pengamatan respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor adalah 40 s.

Respon Frekuensi



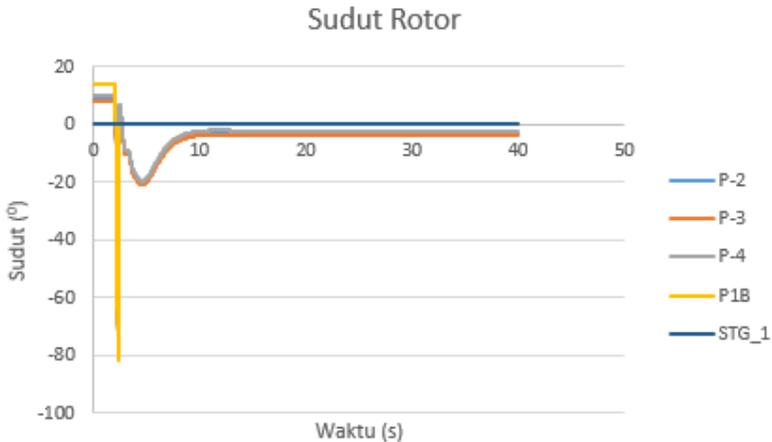
Gambar 4. 67 Respon Frekuensi Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.67 menunjukkan respon frekuensi bus pada saat hubung singkat bus STG_1 diikuti CB open pada $t = 0,3$ s dengan mekanisme *Load Shedding*. Dari gambar menunjukkan bahwa frekuensi bus pada masing-masing level tegangan mengalami penurunan, akan tetapi sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya. Penurunan frekuensi terendah mencapai 99,47% pada detik ke 4,12 s. Sistem kembali *steady state* pada 99,59% dari frekuensi normal. Berdasarkan kepada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 penurunan frekuensi yang terjadi pada studi kasus ini masih diperkenankan.



Gambar 4.68 Respon Tegangan Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.68 Menunjukkan respon tegangan bus pada saat hubung singkat bus STG_1 diikuti *CB* open pada $t = 0,3$ s. Menunjukkan bahwa tegangan pada masing-masing bus mengalami penurunan saat detik ke-2. Bus SG-21 mengalami penurunan tegangan hingga 78,71% dan kembali stabil pada 99,82%. Bus SG-31 mengalami penurunan tegangan hingga 78,67% dan kembali stabil pada 99,82%. Bus SG-41 mengalami penurunan tegangan hingga 78,80% dan kembali stabil pada 99,84%. Bus SG-51 mengalami penurunan tegangan hingga 75,23% dan kembali stabil pada 99,87%. Bus SG-61 mengalami penurunan tegangan hingga 0,79% dan kembali stabil pada 91,35%. Bus SG-3301 mengalami penurunan tegangan hingga 32,60% dan dan kembali stabil pada 94,91%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus ini masih diperkenankan. Dengan kondisi koil kontaktor *CB* tidak dihubungkan dengan bus secara langsung melainkan dihubungkan dengan UPS atau sumber lain dan mengubah setting relay *undervoltage* menjadi lebih lama 0,2 s dari sebelumnya.



Gambar 4. 69 Respon Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat di Bus STG_1 dengan Mekanisme *Load Shedding*

Gambar 4.69 menunjukkan respon sudut rotor relatif terhadap swing generator dari masing-masing generator pada saat SC di BUS STG_1. Dari gambar tersebut terlihat masing-masing generator mengalami osilasi antara detik ke-2 sampai ke-10. Generator P-2 mengalami perubahan sudut rotor hingga $88,92^0$ dan kembali stabil pada $-3,18^0$. Generator P-3 mengalami perubahan sudut rotor hingga $89,16^0$ dan kembali stabil pada -4^0 . Generator P-4 mengalami perubahan sudut rotor hingga $88,59^0$ dan kembali stabil pada $-2,39^0$. Generator P-1B mengalami perubahan sudut rotor pada detik ke-2 kemudian relatif stabil dan tidak mengalami perubahan. Generator STG_1 relatif stabil dan tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan data simulasi respon frekuensi, tegangan dan sudut rotor diatas dapat disimpulkan bahwa sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus hubung singkat pada Bus STG_1 dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Terjadi Osilasi dari masing-masing respon akan tetapi menurut standar IEEE Std C37.106-2003, penurunan ataupun kenaikan yang terjadi masih diperkenankan.

4.5.3 Rekapitulasi Data, Mekanisme *Load Shedding*

4.5.3.1 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Generator *Outage*, Mekanisme *Load Shedding*

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Generator *Outage*

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
CASE A							
P-2 OFF + LS	99,72	100,05	SG-21	92,5	96,53	√	√
			SG-31	96,91	99,98		√
			SG-41	96,87	99,95		√
			SG-51	96,96	100,01		√
			SG-61	96,87	102,08		√
			SG-3301	96,87	101,11		√
			STG_1	96,87	102,8		√
P-3 OFF + LS	99,73	100,05	SG-21	96,29	99,97	√	√
			SG-31	90,86	96,59		√
			SG-41	96,20	99,95		√
			SG-51	96,23	100,01		√
			SG-61	93,43	102,01		√
			SG-3301	93,95	101,13		√
			STG_1	93,42	102,1		√
P-4 OFF + LS	99,73	100,04	SG-21	96,29	99,98	√	√
			SG-31	90,86	99,93		√
			SG-41	96,20	97,14		√
			SG-51	96,23	100,02		√
			SG-61	93,43	102,26		√
			SG-3301	93,95	101,27		√

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
			STG_1	93,42	102,25		√
P-1B OFF + LS	99,47	99,67	SG-21	93,3	99,90	√	√
			SG-31	93,27	99,93		√
			SG-41	93,12	99,94		√
			SG-51	86,76	95,80		√
			SG-61	87,90	101,27		√
			SG-3301	88,94	100,36		√
			STG_1	87,89	101,27		√
CASE B							
P-1B OFF + LS	99,61	99,73	SG-21	96,29	99,98	√	√
			SG-31	90,86	99,93		√
			SG-41	96,20	97,14		√
			SG-51	96,23	100,02		√
			SG-61	93,43	102,26		√
			SG-3301	93,95	101,27		√
			STG_1	93,42	102,25		√
STG OFF + LS	99,70	99,78	SG-21	94,52	99,92	√	√
			SG-31	94,50	99,86		√
			SG-41	94,40	99,88		√
			SG-51	94,37	99,92		√
			SG-61	78,15	90,93		√
			SG-3301	84,44	94,62		√
			STG_1	78,12	90,99		√

Tabel 4.6 diatas menunjukkan respon frekuensi dan tegangan saat terjadi kasus Generator *Outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Respon frekuensi dan tegangan dari kasus tersebut dapat disimpulkan

bahwa sistem dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*.

4.5.3.2 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan Short Circuit, Mekanisme Load Shedding

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Short Circuit

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						F	V
SC 1 (SG-3301) + LS	100	100,56	SG-21	69,65	100,08	√	√
			SG-31	69,69	100,07		√
			SG-41	69,59	100,12		√
			SG-51	64,05	100,03		√
	99,78	99,88	SG-61	39,89	99,75		√
			STG_1	40,81	100,03		√
SC 2 (SG-SB) + LS	100	100,56	SG-21	78,41	100,08	√	√
			SG-31	78,37	100,07		√
			SG-41	78,50	100,12		√
			SG-51	74,96	100,03		√
			SG-3301	37,71	100,75		√
	99,78	99,88	SG-61	1,34	99,63		√
			STG_1	2,88	100,03		√
SC 4 (STG_1) + LS	99,47	99,59	SG-21	78,71	99,82	√	√
			SG-31	78,67	99,82		√
			SG-41	78,80	99,84		√
			SG-51	75,23	99,87		√
			SG-61	0,79	91,35		√
			SG-3301	32,60	94,91		√

Tabel 4.7 diatas menunjukkan respon frekuensi dan tegangan saat terjadi kasus *Short Circuit* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*. Respon frekuensi dan tegangan dari kasus tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem dapat mempertahankan kestabilannya ketika terjadi kasus generator *outage* dan dilakukan mekanisme *Load Shedding*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a) Dari 9 kasus lepasnya pembangkit sebelum dilakukan mekanisme *load shedding* dapat menyebabkan kondisi sistem kelistrikan yang berbahaya, yaitu 1 kasus menyebabkan *underfrequency* dan 5 kasus lainnya menyebabkan terjadi *underfrequency* dan *undervoltage*.
- b) Dari 4 kasus hubung singkat pada *plant* baru didapatkan bahwa kasus *SC* 1 (SG-3301) 33kV, *SC* 2 (SG-SB) 13,8kV, dan *SC* 4 (STG-1) 13,8 mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil, sehingga tidak didapat kondisi *steady state*. Sedangkan pada kasus *SC* 3 (SG-61) menunjukkan bahwa respon tegangan, frekuensi, dan sudut rotor tetap stabil. Nilai tegangan antara 100,04%-100,42%, frekuensi 100,81%, dan sudut rotor beresilasi namun simpangannya tidak melebihi 90 derajat dan dapat stabil kembali. Nilai tersebut masih dalam batas standar yang diizinkan sehingga sistem masih aman.
- c) PT. Pusri Palembang sangat handal dalam hal *starting* motor. Penyalaan motor 2200 kW secara *direct online* saat 5 generator *ON* masih diizinkan karena tegangan dan frekuensi hanya mengalami penurunan yang sangat kecil. Penurunan frekuensi 0,10% dan penurunan tegangan 5,48% dari kondisi *steady state* serta sudut rotor mengalami sedikit osilasi namun masih dalam batas standar aman.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk memperbaiki sistem setelah melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- a) Sebaiknya dalam perancangan pelepasan beban, beban-beban yang dilepas harus di dekat generator yang mengalami kasus outage/lepas.
- b) Untuk beberapa kasus lepasnya unit pembangkit yang mengakibatkan nilai tegangan bus mengalami penurunan hingga kurang dari 80%, perlu dilakukan setting rele pengamanan

(undervoltage relay) dengan delay waktu minimal sebesar total durasi waktu saat tegangan bus kurang dari 80% pada saat terjadi gangguan.

- c) Untuk kasus hubung singkat SC 1 (SG-3301) 33kV, SC 2 (SG-SB) 13,8kV, SC 3 (SG-61) dan SC 4 (STG-1) 13,8, saran kedepannya, nilai dari kedip tegangan (voltage sag) lebih diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik atau peralatan control dalam pabrik/industri.
- d) Untuk kasus hubung singkat SC 1 (SG-3301) 33kV, SC 2 (SG-SB) 13,8kV, SC 3 (SG-61) dan SC 4 (STG-1) 13,8, perlu dilakukan setting rele pengaman (undervoltage relay) dengan delay waktu minimal sebesar total durasi waktu saat tegangan bus kurang dari 80% pada saat terjadi gangguan. Kontaktor *circuit breaker* dihubungkan dengan UPS atau sumber lain, tidak disarankan dihubungkan langsung dengan bus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grigsby, Leonard., “Power System Stability and Control, 3rd edition”, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2012.
- [2] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*” IEEE Transactions on Power system , vol. 19, no. 2, may 2004.
- [3] Kundur, Prabha, “Power System Stability and Control”, McGraw-Hill Companies Inc, 1994.
- [4] IEEE, “*Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*”, 1987. IEEE Std. C37.106-2003(Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987)
- [5] Das, J.C., “Transient in Electrical System, Analysis ,Recognition, and Mitigation“ , McGraw-Hill, Inc, 2010.
- [6] Rakhmadian, Hilman, “analisis Stabilitas Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pupuk Kaimantan Timur Pabrik 5 (PKT-5), 2013.
- [7] IEEE, “*Recommended Practice for monitoring Electric Power Quality*”, 1995.IEEE Std 1159-1995.
- [8] Saadat, H.,”*Power System Analysis*”, McGraw-Hill, Inc, 1994.

RIWAYAT PENULIS



Baghazta Akbar Ar-Zandhy. Penulis biasa dipanggil Baghazt. Penulis lahir di kota Kediri pada 4 Desember 1993. Penulis memulai pendidikannya dari TK Darma Wanita pada tahun 1998-2000, kemudian melanjutkan studi di SDN Banjaran IV pada tahun 2000-2006, SMP Negeri 1 Kediri pada tahun 2006-2009, SMA Negeri 1 Kediri pada 2009-2012, dan penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga saat ini. Semasa kuliah, penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis juga aktif dalam himpunan mahasiswa dan kepengurusan kepanitiaan event yang dilaksanakan di jurusan Teknik Elektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat baghaztaakbar@gmail.com.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan