



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
Intisari	xix
Abstract	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik	8
2.2.1.1 Stabilitas Frekuensi	8
2.2.2 Kontrol Frekuensi dan Daya Aktif.....	9
2.2.2.1 Persamaan Swing	11
2.2.2.2 Governor	12
2.2.2.3 Speed Droop.....	13
2.2.3 Laju Penurunan Frekuensi	14



2.2.3.1	Kelebihan Beban	18
2.2.3.2	Konstanta Inersia.....	20
2.2.4	Pelepasan Beban	22
2.2.4.1	Operasi Frekuensi Abnormal pada Sistem Tenaga Listrik	22
2.2.4.2	Metode Pelepasan Beban Akibat Penurunan Frekuensi.....	24
2.2.4.3	Perhitungan Pemulihan Frekuensi Akibat Pelepasan Beban	26
2.2.5	Prioritas Beban.....	26
2.2.5.1	Jenis-Jenis Beban Listrik.....	26
2.2.5.2	Jenis Beban yang Dilepaskan.....	27
2.2.6	Standar IEEE C37-106 2003 tentang Frekuensi Abnormal	
	Generator	28
2.2.7	Pengaturan <i>Under Frequency Relay</i>	30
2.2.7.1	Perkiraan Tahapan Frekuensi Acuan	31
2.2.7.2	Penentuan Frekuensi Acuan Tahap Pertama.....	32
2.2.7.3	Penentuan Frekuensi Acuan Tahap Kedua dan Seterusnya	33
2.2.7.4	Pengaturan Frekuensi Minimum	35
2.2.8	ETAP (<i>Electrical Transient Analysis Program</i>)	36
2.2.8.1	Gambaran Umum	36
2.2.8.2	Standar yang Digunakan	37
2.2.8.3	<i>Transient Stability Analysis</i>	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		40
3.1	Sumber Data.....	40
3.2	Alat yang Digunakan	40
3.3	Diagram Alir Penelitian	40
3.4	Objek Penelitian.....	43
3.4.1	Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV PT. Kaltim Daya	
	Mandiri (KDM)	43
3.4.1.1	Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik.....	44
3.4.1.2	Sistem Transmisi dan Distribusi	45
3.4.1.3	Jenis Beban pada Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM.....	46



3.4.2	Skenario Generator Lepas dari Sistem	47
3.4.3	Skema Pelepasan Beban	49
3.4.4	Pengaturan <i>Under Frequency Relay</i>	57
3.4.5	Pengaturan <i>Under Frequency Relay</i> pada ETAP.....	60
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		62
4.1	Analisis Pemulihan Frekuensi.....	63
4.1.1	Skenario Satu Generator yang Lepas dari Sistem.....	63
4.1.1.1	Skenario 1	63
4.1.1.2	Skenario 2	67
4.1.1.3	Skenario 3	71
4.1.1.4	Skenario 4	74
4.1.1.5	Skenario 5	77
4.1.1.6	Skenario 6	80
4.1.2	Skenario Kombinasi Dua Generator yang Lepas dari Sistem	83
4.1.2.1	Skenario 1	83
4.1.2.2	Skenario 2	88
4.1.2.3	Skenario 3	93
4.1.2.4	Skenario 4	97
4.1.2.5	Skenario 5	101
4.1.2.6	Skenario 6	106
4.1.2.7	Skenario 7	111
4.1.2.8	Skenario 8	115
4.1.2.9	Skenario 9	120
4.1.2.10	Skenario 10	124
4.1.2.11	Skenario 11	128
4.1.2.12	Skenario 12	132
4.1.2.13	Skenario 13	136
4.1.2.14	Skenario 14	140
4.1.2.15	Skenario 15	144
4.2	Analisis Frekuensi Terendah Akibat Lepasnya Generator dari Sistem	148



4.2.1	Skenario Satu Generator Lepas dari Sistem	150
4.2.2	Skenario Kombinasi Dua Generator Lepas dari Sistem	152
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		157
5.1	Kesimpulan	157
5.2	Saran	158
DAFTAR PUSTAKA		159
LAMPIRAN.....		161



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Survey frekuensi acuan tahap pertama menurut standar IEEE C37-106 2003.	32
Tabel 2.2	Survey frekuensi minimum rele trip menurut standar IEEE C37-106 2003.	36
Tabel 3.1	Sistem pembangkitan pada Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM.	45
Tabel 3.2	Persebaran beban Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM.	46
Tabel 3.3	Skenario satu generator yang lepas dari sistem.	48
Tabel 3.4	Skenario kombinasi dua generator yang lepas dari sistem.	48
Tabel 3.5	Skema pelepasan beban yang direkomendasikan oleh PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).	51
Tabel 3.6	Rata-rata nilai G dan H.	58
Tabel 3.7	Tahap beban yang dilepaskan	58
Tabel 3.8	Tahap frekuensi dalam pelepasan beban	60
Tabel 3.9	Pengaturan <i>Under Frequency Relay</i> dalam simulasi pelepasan beban	61
Tabel 4.1	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GTG KDM lepas dari sistem	63
Tabel 4.2	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG KDM lepas dari sistem	64
Tabel 4.3	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 1	66
Tabel 4.4	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GTG K2 lepas dari sistem	67



Tabel 4.5	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG K2 lepas dari sistem	68
Tabel 4.6	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 2	70
Tabel 4.7	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah generator 16-Z-01 lepas dari sistem.....	71
Tabel 4.8	Frekuensi sistem sesaat setelah generator 16-Z-01 lepas dari sistem	72
Tabel 4.9	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 3	73
Tabel 4.10	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GEN P lepas dari sistem.....	74
Tabel 4.11	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GEN P lepas dari sistem	75
Tabel 4.12	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 4	76
Tabel 4.13	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah STG-1 K5 lepas dari sistem	77
Tabel 4.14	Frekuensi sistem sesaat setelah generator STG-1 K5 lepas dari sistem	78
Tabel 4.15	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 5	80
Tabel 4.16	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah STG-2 K5 lepas dari sistem	81
Tabel 4.17	Frekuensi sistem sesaat setelah generator STG-2 K5 lepas dari sistem	81
Tabel 4.18	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 6	83
Tabel 4.19	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GTG KDM dan GTG K2 lepas dari sistem.....	84
Tabel 4.20	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG KDM dan GTG K2 lepas dari sistem	85



Tabel 4.21 Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 1	87
Tabel 4.22 Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM	
sebelum dan setelah GTG KDM dan 16-Z-01 lepas dari sistem.....	89
Tabel 4.23 Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG KDM	
dan 16-Z-01 lepas dari sistem	90
Tabel 4.24 Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 2	91
Tabel 4.25 Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM	
sebelum dan setelah GTG KDM dan GEN P lepas dari sistem	93
Tabel 4.26 Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG KDM	
dan GEN P lepas dari sistem.....	94
Tabel 4.27 Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 3	96
Tabel 4.28 Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM	
sebelum dan setelah GTG KDM dan STG-1 K5 lepas dari sistem....	98
Tabel 4.29 Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG KDM	
dan STG-1 K5 lepas dari sistem.....	98
Tabel 4.30 Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 4	100
Tabel 4.31 Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM	
sebelum dan setelah GTG KDM dan STG-2 K5 lepas dari sistem..	102
Tabel 4.32 Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG KDM	
dan STG-2 K5 lepas dari sistem.....	103
Tabel 4.33 Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 5	104
Tabel 4.34 Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM	
sebelum dan setelah GTG K2 dan 16-Z-01 lepas dari sistem.....	106
Tabel 4.35 Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG K2	
dan 16-Z-01 lepas dari sistem	107
Tabel 4.36 Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 6	109



Tabel 4.37	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GTG K2 dan GEN P lepas dari sistem.....	111
Tabel 4.38	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG K2 dan GEN P lepas dari sistem	112
Tabel 4.39	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 7	114
Tabel 4.40	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GTG K2 dan STG-1 K5 lepas dari sistem	115
Tabel 4.41	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG K2 dan STG-1 K5 lepas dari sistem.....	116
Tabel 4.42	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 8	118
Tabel 4.43	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GTG K2 dan STG-2 K5 lepas dari sistem	120
Tabel 4.44	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GTG K2 dan STG-2 K5 lepas dari sistem.....	121
Tabel 4.45	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 9	122
Tabel 4.46	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah 16-Z-01 dan GEN P lepas dari sistem.....	124
Tabel 4.47	Frekuensi sistem sesaat setelah generator 16-Z-01 dan GEN P lepas dari sistem.....	125
Tabel 4.48	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 10	127
Tabel 4.49	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah 16-Z-01 dan STG-1 K5 lepas dari sistem	128
Tabel 4.50	Frekuensi sistem sesaat setelah generator 16-Z-01 dan STG-1 K5 lepas dari sistem.....	129
Tabel 4.51	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 11	131
Tabel 4.52	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah 16-Z-01 dan STG-2 K5 lepas dari sistem	132



Tabel 4.53	Frekuensi sistem sesaat setelah generator 16-Z-01 dan STG-2 K5 lepas dari sistem.....	133
Tabel 4.54	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 12	135
Tabel 4.55	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GEN P dan STG-1 K5 lepas dari sistem	136
Tabel 4.56	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GEN P dan STG-1 K5lepas dari sistem.....	137
Tabel 4.57	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 13	139
Tabel 4.58	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah GEN P dan STG-2 K5 lepas dari sistem	141
Tabel 4.59	Frekuensi sistem sesaat setelah generator GEN P dan STG-2 K5lepas dari sistem.....	141
Tabel 4.60	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 14	143
Tabel 4.61	Kondisi Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV KDM sebelum dan setelah STG-1 K5 dan STG-2 K5 lepas dari sistem....	144
Tabel 4.62	Frekuensi sistem sesaat setelah generator STG-1 K5 dan STG-2 K5 lepas dari sistem.....	145
Tabel 4.63	Waktu dan frekuensi saat beban dilepas pada skenario 15	147
Tabel 4.64	Kinerja sistem saat tanpa pelepasan beban dan dengan pelepasan beban pada skenario satu generator lepas dari sistem.....	150
Tabel 4.65	Kinerja sistem saat tanpa pelepasan beban dan dengan pelepasan beban pada skenario kombinasi dua generator lepas dari sistem	152



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema diagram dari governor dan turbin (Sumber: Kundur, 1994).	10
Gambar 2.2	Prinsip kerja governor.....	12
Gambar 2.3	Keadaan ideal pada governor dengan mode speed droop (Sumber: Kundur, 1994).....	13
Gambar 2.4	Respon pembangkitan pada generator yang menggunakan mode governor speed droop (Sumber: Kundur, 1994).....	14
Gambar 2.5	Grafik penurunan frekuensi dengan parameter konstanta inersia dan persen kelebihan beban (Sumber: Lokay, 1968).....	19
Gambar 2.6	Perubahan frekuensi dengan adanya <i>spinning reserve</i> (Sumber: IEEE, 2007).....	23
Gambar 2.7	Osilasi Frekuensi dengan tanpa adanya <i>spinning reserve</i> (Sumber: IEEE, 2007).....	24
Gambar 2.8	Standar IEEE C37-106 2003 untuk menyatakan generator turbin gas dan <i>steam</i> (Sumber: IEEE, 2003).....	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 3.2	Sistem Integrasi Kelistrikan 33 kV PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM).....	44
Gambar 4.1	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 1.....	64
Gambar 4.2	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 2.....	68
Gambar 4.3	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 3.....	71
Gambar 4.4	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 4.....	75



Gambar 4.5	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 5.....	78
Gambar 4.6	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 6.....	81
Gambar 4.7	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 1.....	84
Gambar 4.8	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 2.....	89
Gambar 4.9	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 3.....	94
Gambar 4.10	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 4.....	98
Gambar 4.11	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 5.....	102
Gambar 4.12	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 6.....	107
Gambar 4.13	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 7.....	111
Gambar 4.14	Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban pada Skenario 8.....	116



Gambar 4.15 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 9.....	120
Gambar 4.16 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 10.....	125
Gambar 4.17 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 11.....	129
Gambar 4.18 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 12.....	133
Gambar 4.19 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 13.....	137
Gambar 4.20 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 14.....	141
Gambar 4.21 Perubahan frekuensi sistem sebelum dan setelah gangguan	
saat tanpa pelepasan beban dan menggunakan pelepasan beban	
pada Skenario 15.....	145
Gambar 4.22 Perbandingan frekuensi saat tanpa pelepasan beban	
untuk skenario 2 dan skenario 5 pada skenario	
satu generator lepas dari sistem.	151
Gambar 4.23 Perbandingan frekuensi saat tanpa pelepasan beban	
untuk skenario 6 dan skenario 15 pada skenario	
kombinasi dua generator lepas dari sistem.	154