

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xvi
INTISARI.....	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Penelitian Terkait.....	5
2.1.1.1 Desain <i>Grid Following</i> dan <i>Grid Forming</i> Inverter	5
2.1.1.2 Analisis Stabilitas pada <i>Grid Following</i> dan <i>Grid Forming</i> Inverter	6
2.1.2 Kesimpulan	9
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik	10
2.2.1.1 Stabilitas Tegangan	11
2.2.1.2 Stabilitas Frekuensi	12
2.2.1.3 Stabilitas Sudut Rotor	12
2.2.2 Transformasi dq	12
2.2.3 Generator Sinkron.....	13
2.2.4 <i>Grid Following Inverter</i>	14
2.2.5 <i>Grid Forming Inverter</i>	14
2.2.6 <i>Short Circuit Ratio</i> (SCR)	15
2.2.7 Desain Dinamika Jaringan.....	15
2.2.7.1 Constant Power	16

2.2.7.2	Constant Current	16
2.2.7.3	Constant Impedance	16
2.2.7.4	Model Dinamis dq	16
BAB III Metode Penelitian.....		19
3.1	Alat Tugas akhir.....	19
3.2	Generator Sinkron	19
3.2.1	Model Generator Sinkron.....	19
3.2.2	Governor	22
3.2.3	Automatic Voltage Regulator (AVR)	23
3.2.4	Power System Stabilizer (PSS)	24
3.3	Model Grid Following Inverter	24
3.4	Model Grid Forming Inverter	27
3.5	Single Machine to Infinite Bus (SMIB)	30
3.6	Pemilihan Filter Inverter.....	31
3.7	Teori Sistem Linear	32
3.7.1	Linearisasi	33
3.7.2	Eigenvalue	34
3.7.3	Participation Factor	35
3.8	Skenario Pengujian Small Signal Sistem	36
3.9	Pemilihan Parameter Kontrol pada Inverter	38
3.10	Alur Tugas Akhir	39
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....		42
4.1	Skenario 1 : Pengujian Pengaruh Daya Inverter terhadap Kestabilan Sistem	42
4.1.1	Sistem dengan Generator Sinkron dan Grid Following Inverter	42
4.1.1.1	SCR Sistem Rendah	42
4.1.1.2	SCR Sistem Tinggi	44
4.1.2	Sistem dengan Generator Sinkron dan Grid Forming Inverter	45
4.1.2.1	SCR Sistem Tinggi	46
4.1.2.2	SCR Sistem Rendah	47
4.1.3	Sistem dengan Grid Following Inverter dan Grid Forming Inverter	49
4.1.3.1	Variasi rasio kedua kontrol pada Sistem dengan SCR Rendah	49
4.1.3.2	Variasi rasio kedua kontrol pada Sistem dengan SCR Tinggi	52
4.2	Skenario 2 : Pengujian SCR terhadap Kestabilan Sistem	54
4.2.1	Sistem dengan Generator Sinkron dan Grid Following Inverter	54
4.2.2	Sistem dengan Generator Sinkron dan Grid Forming Inverter	57
4.2.3	Sistem dengan Grid Following Inverter dan Grid Forming Inverter	60

4.2.3.1	Variasi SCR pada Sistem dengan Daya Aktif <i>Grid Following</i> Tinggi	60
4.2.3.2	Variasi SCR pada Sistem dengan Daya Aktif <i>Grid Forming</i> Tinggi	63
4.3	Skenario 3 : Pengujian Bandwith Gain Kontrol Sinkronisasi terhadap Kestabilan Sistem	66
4.3.1	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Following Inverter</i>	66
4.3.2	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Forming Inverter</i>	69
4.3.3	Sistem dengan <i>Grid Following Inverter</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i>	72
4.3.3.1	Pengujian PLL <i>Grid Following Inverter</i>	72
4.3.3.2	Pengujian Droop <i>Grid Forming Inverter</i>	76
4.4	Skenario 4 : Pengujian Bandwith Kontrol <i>Outer Loop</i> terhadap Kestabilan Sistem	80
4.4.1	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Following Inverter</i>	80
4.4.1.1	Pengujian <i>Outer Loop</i> Sumbu d	80
4.4.1.2	Pengujian <i>Outer Loop</i> Sumbu q	83
4.4.2	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Forming Inverter</i>	86
4.4.2.1	Pengujian <i>Outer Loop</i> Sumbu d	86
4.4.2.2	Pengujian <i>Outer Loop</i> Sumbu q	90
4.4.3	Sistem dengan <i>Grid Following Inverter</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i>	92
4.4.3.1	Variasi <i>Outer Loop</i> Sumbu d <i>Grid Following Inverter</i> ...	92
4.4.3.2	Variasi <i>Outer Loop</i> Sumbu q <i>Grid Following Inverter</i> ...	96
4.4.3.3	Variasi <i>Outer Loop</i> Sumbu d <i>Grid Forming Inverter</i>	101
4.4.3.4	Variasi <i>Outer Loop</i> Sumbu q <i>Grid Forming Inverter</i>	105
4.5	Skenario 5 : Pengujian Simulasi Transient Sistem	109
4.5.1	Pengujian Kontrol Daya Aktif dan Reaktif Inverter	109
4.5.1.1	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Following Inverter</i>	109
4.5.1.2	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Forming Inverter</i>	110
4.5.1.3	Sistem dengan <i>Grid Following Inverter</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i>	111
4.5.2	Pengujian Gangguan Tegangan pada <i>Infinite Bus</i>	112
4.5.2.1	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Following Inverter</i>	112
4.5.2.2	Sistem dengan Generator Sinkron dan <i>Grid Forming Inverter</i>	113
4.5.2.3	Sistem dengan <i>Grid Following Inverter</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i>	114

BAB V	Kesimpulan dan Saran	117
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Saran	118
DAFTAR PUSTAKA		119

Tabel 2.1	Perbedaan <i>Grid Following</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i>	8
Tabel 3.1	Parameter Generator Sinkron	22
Tabel 3.2	Parameter Governor	23
Tabel 3.3	Parameter AVR	23
Tabel 3.4	Parameter PSS	24
Tabel 3.5	Parameter SMIB dengan Sumber Generator Sinkron dan Inverter....	31
Tabel 3.6	SMIB dengan Sumber <i>Grid Following</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i> ...	32
Tabel 3.7	Parameter Skenario 1 dan 2	38
Tabel 3.8	Parameter Skenario 3, 4, dan 5	38
Tabel 3.9	Parameter <i>Outer Loop Inverter</i> dengan Bandwidth Sekitar 10 Hz....	39
Tabel 4.1	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	43
Tabel 4.2	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	45
Tabel 4.3	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	46
Tabel 4.4	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	48
Tabel 4.5	Tabel Participation Factor pada Mode Sinkronisasi GFL pada Pengujian SCR Rendah	50
Tabel 4.6	Tabel Participation Factor pada Mode Sinkronisasi GFM pada Pengujian SCR Rendah	51
Tabel 4.7	Tabel Participation Factor pada Mode Sinkronisasi GFL pada Pengujian SCR Tinggi	53
Tabel 4.8	Tabel Participation Factor pada Mode Sinkronisasi GFM pada Pengujian SCR Tinggi	53
Tabel 4.9	Tabel Participation pada Pengujian P_{SG} Rendah	55
Tabel 4.10	Tabel Participation pada Pengujian P_{SG} Tinggi.....	56
Tabel 4.11	Tabel Participation pada Pengujian P_{SG} Rendah	57
Tabel 4.12	Tabel Participation pada Pengujian P_{SG} Tinggi.....	59
Tabel 4.13	Tabel Participation pada Pengujian Perubahan SCR pada Mode Sinkronisasi PLL	61
Tabel 4.14	Tabel Participation pada Pengujian Perubahan SCR pada Mode Sinkronisasi Droop	62
Tabel 4.15	Tabel Participation pada Pengujian Perubahan SCR pada Mode Sinkronisasi PLL	63
Tabel 4.16	Tabel Participation pada Pengujian Perubahan SCR pada Mode Sinkronisasi Droop	65
Tabel 4.17	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	67
Tabel 4.18	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	69
Tabel 4.19	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	70
Tabel 4.20	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	71
Tabel 4.21	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	73
Tabel 4.22	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	75
Tabel 4.23	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	77
Tabel 4.24	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	79
Tabel 4.25	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	80
Tabel 4.26	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	82

Tabel 4.27	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	83
Tabel 4.28	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	85
Tabel 4.29	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	87
Tabel 4.30	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	89
Tabel 4.31	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	90
Tabel 4.32	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	92
Tabel 4.33	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	94
Tabel 4.34	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	95
Tabel 4.35	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	98
Tabel 4.36	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	100
Tabel 4.37	Tabel Participation pada Pengujian SCR Rendah	102
Tabel 4.38	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	104
Tabel 4.39	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	106
Tabel 4.40	Tabel Participation pada Pengujian SCR Tinggi	108

Gambar 1.1	Bauran Energi Pembangkit Listrik Dunia	1
Gambar 2.1	Kontrol <i>Grid Following</i> dan <i>Grid Forming</i> Inverter	7
Gambar 2.2	Kontrol <i>Grid Following</i> Inverter	9
Gambar 2.3	Kontrol <i>Grid Forming</i> Inverter	10
Gambar 2.4	Pengaruh Level Penetrasi Inverter dan Panjang Saluran terhadap Stabilitas Sistem	10
Gambar 2.5	Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik	11
Gambar 2.6	Referensi Frame dq pada Generator atau Konverter dan Jaringan .	13
Gambar 2.7	Rangkaian Ekvivalen Generator Sinkron.....	13
Gambar 2.8	Referensi Frame dq pada Generator atau Konverter dan Jaringan .	17
Gambar 2.9	Referensi Frame dq pada Generator atau Konverter dan Jaringan .	17
Gambar 2.10	Referensi Frame dq pada Generator atau Konverter dan Jaringan .	17
Gambar 3.1	Model Lilitan Generator Sinkron	20
Gambar 3.2	Blok Diagram dari PSS	24
Gambar 3.3	SMIB dengan Sumber Generator Sinkron dan Inverter	30
Gambar 3.4	SMIB dengan Sumber <i>Grid Following</i> dan <i>Grid Forming Inverter</i>	31
Gambar 3.5	<i>Flowchart</i> Tugas Akhir	41
Gambar 4.1	Pengujian Variasi Daya Aktif pada Jaringan dengan SCR Rendah	42
Gambar 4.2	Pengujian Variasi Daya Aktif pada Jaringan dengan SCR Tinggi .	44
Gambar 4.3	Pengujian Variasi Daya Aktif pada Jaringan dengan SCR Tinggi .	46
Gambar 4.4	Pengujian Variasi Daya Aktif pada Jaringan dengan SCR Rendah	47
Gambar 4.5	Pengujian Variasi Daya Aktif pada Jaringan dengan SCR Rendah	49
Gambar 4.6	Pengujian Variasi Daya Aktif pada Jaringan dengan SCR Tinggi .	52
Gambar 4.7	Pengujian SCR dengan P_{SG} Rendah.....	54
Gambar 4.8	Pengujian SCR dengan P_{SG} Tinggi ($P_{SG} : 1$ atau $\eta : 1$)	56
Gambar 4.9	Pengujian SCR dengan P_{SG} Rendah.....	57
Gambar 4.10	Pengujian SCR dengan P_{SG} Tinggi	59
Gambar 4.11	Pengujian Perubahan SCR pada Sistem dengan Daya Aktif <i>Grid Following</i> Tinggi	60
Gambar 4.12	Pengujian Perubahan SCR pada Sistem dengan Daya Aktif <i>Grid Forming</i> Tinggi.....	63
Gambar 4.13	Pengujian Gain PLL dengan SCR Rendah	66
Gambar 4.14	Pengujian Gain PLL dengan SCR Tinggi.....	68
Gambar 4.15	Pengujian Gain Droop dengan SCR Rendah	69
Gambar 4.16	Pengujian Gain Droop dengan SCR Tinggi	71
Gambar 4.17	Pengujian Gain PLL dengan SCR Rendah	72
Gambar 4.18	Pengujian Gain PLL dengan SCR Tinggi.....	74
Gambar 4.19	Pengujian Gain Droop dengan SCR Rendah	76
Gambar 4.20	Pengujian Gain Droop dengan SCR Tinggi	78
Gambar 4.21	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Rendah	80
Gambar 4.22	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Tinggi..	81
Gambar 4.23	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Rendah	83
Gambar 4.24	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Tinggi..	84

Gambar 4.25	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Rendah	86
Gambar 4.26	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Tinggi..	88
Gambar 4.27	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Rendah	90
Gambar 4.28	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Tinggi..	91
Gambar 4.29	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Rendah	93
Gambar 4.30	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Tinggi..	95
Gambar 4.31	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Rendah	97
Gambar 4.32	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Tinggi..	99
Gambar 4.33	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Rendah	101
Gambar 4.34	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu d dengan SCR Tinggi..	103
Gambar 4.35	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Rendah	105
Gambar 4.36	Pengujian <i>Bandwidth Outer Loop</i> Sumbu q dengan SCR Tinggi..	107
Gambar 4.37	Pengujian Kontrol Inverter : (a) Daya Aktif, (b) Daya Reaktif, (c) Frekuensi, (d) Tegangan	110
Gambar 4.38	Pengujian Kontrol Inverter : (a) Daya Aktif, (b) Daya Reaktif, (c) Frekuensi, (d) Tegangan	111
Gambar 4.39	Pengujian Kontrol Inverter : (a) Daya Aktif, (b) Daya Reaktif, (c) Frekuensi, (d) Tegangan	112
Gambar 4.40	Pengujian Kontrol Inverter : (a) Daya Aktif, (b) Frekuensi, (c) Daya Reaktif, (d) Tegangan	113
Gambar 4.41	Pengujian Kontrol Inverter : (a) Daya Aktif, (b) Frekuensi, (c) Daya Reaktif, (d) Tegangan	114
Gambar 4.42	Pengujian Kontrol Inverter : (a) Daya Aktif, (b) Frekuensi, (c) Daya Reaktif, (d) Tegangan	115