

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
BAB I Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori .....	4
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori .....	4
2.2.1 <i>Photovoltaic</i> .....	4
2.2.2 Baterai .....	7
2.2.3 DC-DC Converter.....	8
2.2.4 Inverter.....	10
2.2.4.1 <i>Voltage Source Inverter (VSI)</i> .....	10
2.2.4.2 <i>Current Source Inverter (CSI)</i> .....	11
2.2.5 Metode <i>Grid-forming Inverter</i> .....	11
2.2.6 Sistem Kontrol .....	13
2.2.6.1 <i>Droop Control</i> .....	13
2.2.6.2 <i>Current Control</i> .....	15
2.2.6.3 <i>Voltage Control</i> .....	17
2.2.7 LCL Filter .....	18
2.2.8 <i>Pulse Width Modulation</i> .....	19
2.2.9 Transformasi Clarke-Park .....	23
2.2.10 Matlab-Simulink .....	24
BAB III Metode Penelitian.....	25
3.1 Alat dan Bahan Tugas akhir .....	25



3.1.1	Alat Tugas akhir .....	25
3.1.2	Bahan Tugas akhir .....	25
3.2	Metode yang Digunakan .....	25
3.2.1	Pemodelan dan Simulasi .....	25
3.2.1.1	Pemilihan Model <i>Grid-forming Inverter</i> .....	25
3.2.1.2	Simulasi dengan Matlab-Simulink .....	26
3.2.2	Analisis dan Evaluasi .....	26
3.2.2.1	Analisis <i>Input</i> Sistem .....	26
3.2.2.2	Analisis <i>Output</i> Sistem .....	26
3.2.2.3	Analisis Sistem Kontrol .....	26
3.3	Alur Tugas Akhir .....	27
3.4	Perancangan Sistem .....	28
3.4.1	Perancangan <i>PV Array</i> .....	28
3.4.2	Perancangan Baterai .....	29
3.4.3	Perancangan Inverter .....	30
3.4.4	Perancangan Sistem Kendali Inverter .....	31
3.4.4.1	<i>Droop Control</i> .....	31
3.4.4.2	<i>Voltage dan Current Control</i> .....	32
3.4.5	Perancangan <i>Pulse Width Modulation</i> .....	33
3.4.6	Perancangan Filter LCL .....	34
3.4.7	Perancangan <i>Load</i> .....	35
3.4.8	Perancangan <i>Grid</i> .....	36
BAB IV	Hasil dan Pembahasan .....	38
4.1	Pengukuran Kinerja <i>PV Array</i> .....	39
4.2	Kinerja PV Terintegrasi dengan Baterai .....	41
4.3	Kinerja Sistem Kendali pada <i>Grid-forming Inverter</i> .....	42
4.3.1	<i>Droop Control</i> .....	42
4.3.2	<i>Voltage Control</i> .....	43
4.3.3	<i>Current Control</i> .....	44
4.4	Kinerja <i>Pulse Width Modulation</i> .....	45
4.5	Pengujian <i>Grid-forming Inverter</i> pada Ragam Kondisi .....	46
4.5.1	Pengujian Perubahan <i>Irradiance</i> .....	46
4.5.2	Pengujian Perubahan Suhu .....	50
4.5.3	Pengujian Baterai .....	52
4.5.4	Pengujian Perubahan <i>Grid</i> .....	53
BAB V	Kesimpulan .....	55
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran .....	56
DAFTAR PUSTAKA	.....	57



LAMPIRAN .....	L-1
L.0.1 <i>Source Code</i> Kontrol MPPT pada PV Array .....	L-1
L.0.2 <i>Source Code</i> Penentuan Nilai L dan C pada Boost Converter .....	L-2
L.0.3 <i>Source Code</i> Penentuan Nilai L dan C pada Bidirectional Converter .....	L-2
L.0.4 Pengujian Perubahan <i>Irradiance</i> .....	L-3
L.0.5 <i>Total Harmonic Distortion</i> pada Perubahan <i>Irradiance</i> .....	L-4
L.0.6 Pengujian Perubahan Suhu .....	L-6
L.0.7 <i>Total Harmonic Distortion</i> pada Perubahan Suhu .....	L-7
L.0.8 Pengujian Baterai .....	L-9
L.0.9 <i>Total Harmonic Distortion</i> saat Baterai <i>Discharge</i> .....	L-10

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tegangan Keluaran Inverter pada Tiap Saklar Bekerja .....	22
Tabel 3.1	Nilai Parameter <i>PV Array</i> .....	29
Tabel 4.1	Tabel Karakteristik I-V dan P-V <i>PV Array</i> .....	40
Tabel 4.2	Pengaruh Perubahan <i>Irradiance</i> terhadap Keluaran Inverter .....	47
Tabel 4.3	Pengujian Perubahan Suhu terhadap Keluaran Inverter .....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Topologi <i>Photovoltaic</i> .....	5
Gambar 2.2	Karakteristik I-V dan P-V <i>PV array</i> .....	7
Gambar 2.3	Konverter DC-DC Dua Arah .....	9
Gambar 2.4	<i>Kontrol Bidirectional buck-boost DC-DC Converter</i> .....	10
Gambar 2.5	Topologi <i>Voltage Source Inverter</i> .....	10
Gambar 2.6	Topologi <i>Current Source Inverter</i> .....	11
Gambar 2.7	Perbedaan Topologi GFM dan GFL.....	12
Gambar 2.8	Metode <i>Grid-forming Inverter</i> .....	13
Gambar 2.9	<i>Droop Control</i> .....	14
Gambar 2.10	Diagram Blok <i>Current Control</i> .....	15
Gambar 2.11	Diagram Blok <i>Current Control</i> .....	17
Gambar 2.12	Topologi LCL Filter .....	19
Gambar 2.13	Gelombang Segitiga dan Gelombang Pembawa PWM .....	20
Gambar 2.14	Grafik <i>Duty Cycle</i> Sinyal PWM .....	20
Gambar 2.15	<i>Sine Pulse Width Modulation</i> .....	21
Gambar 2.16	Topologi SVPWM .....	21
Gambar 2.17	Kombinasi Kondisi Saklar .....	22
Gambar 2.18	Koordinat Transformasi Park .....	23
Gambar 2.19	Koordinat Transformasi Clarke .....	24
Gambar 3.1	Alur Penelitian .....	27
Gambar 3.2	Perancangan <i>PV Array</i> dengan Matlab-Simulink .....	29
Gambar 3.3	Perancangan Baterai dengan Matlab-Simulink .....	30
Gambar 3.4	Perancangan Kontrol <i>Bidirectional</i> DC-DC .....	30
Gambar 3.5	Perancangan Inverter dengan Matlab-Simulink .....	31
Gambar 3.6	Perancangan <i>Droop Control</i> dengan Matlab-Simulink.....	32
Gambar 3.7	Perancangan <i>Voltage</i> dan <i>Current Control</i> dengan Matlab-Simulink .....	33
Gambar 3.8	Perancangan <i>Pulse Width Modulation</i> dengan Matlab-Simulink ..	34
Gambar 3.9	Perancangan Filter LCL dengan Matlab-Simulink .....	35
Gambar 3.10	Perancangan <i>Load</i> dengan Matlab-Simulink .....	36
Gambar 3.11	Perancangan <i>Grid</i> dengan Matlab-Simulink.....	36
Gambar 4.1	Perancangan <i>Grid-forming Inverter</i> dengan menggunakan Matlab-Simulink .....	38
Gambar 4.2	Karakteristik I-V dan P-V pada suhu 25 °C .....	39
Gambar 4.3	Karakteristik I-V dan P-V pada <i>Irradiance</i> 1000 W/m <sup>2</sup> .....	40
Gambar 4.4	Kondisi Keluaran Baterai .....	41
Gambar 4.5	Kondisi Keluaran Baterai dan PV .....	42
Gambar 4.6	Keluaran Sinyal Segitiga pada <i>Droop Control</i> .....	43
Gambar 4.7	Keluaran Tegangan Referensi pada Sumbu d <i>Droop Control</i> .....	43
Gambar 4.8	Respons Tegangan pada <i>Voltage Control</i> .....	44
Gambar 4.9	Respons Arus pada <i>Current Control</i> .....	45
Gambar 4.10	Modulasi PWM .....	45
Gambar 4.11	Modulasi PWM dengan Skala Diperbesar .....	46
Gambar 4.12	Pengujian Perubahan <i>Irradiance</i> Kondisi 1 .....	47
Gambar 4.13	THD Arus pada Kondisi 1 dengan <i>Irradiance</i> 1000 W/m <sup>2</sup> .....	48



Gambar 4.14	THD Arus pada Kondisi 1 dengan <i>Irradiance</i> $750 \text{ W/m}^2$ .....	49
Gambar 4.15	Perubahan <i>Irradiance</i> dengan <i>Repeating Sequence Interpolated</i> ..	49
Gambar 4.16	Keluaran Tegangan dan Arus Inverter dengan Perubahan <i>Irradiance</i> .....	50
Gambar 4.17	Pengujian Perubahan Suhu Kondisi 4 .....	51
Gambar 4.18	THD Arus pada Kondisi 3 dengan Suhu $25^\circ\text{C}$ .....	51
Gambar 4.19	THD Arus pada Kondisi 4 dengan Suhu $30^\circ\text{C}$ .....	52
Gambar 4.20	Pengujian Perubahan <i>Irradiance</i> $1000 \text{ W/m}^2$ menjadi $0 \text{ W/m}^2$ ..	52
Gambar 4.21	Perubahan Kondisi Baterai .....	53
Gambar 4.22	Perubahan Frekuensi saat Gangguan .....	54
Gambar 4.23	Respons Tegangan dan Arus Keluaran Inverter saat Gangguan ...	54
Gambar 1	Perubahan <i>Irradiance</i> $1000 \text{ W/m}^2$ ke $750 \text{ W/m}^2$ .....	L-3
Gambar 2	Perubahan <i>Irradiance</i> $750 \text{ W/m}^2$ ke $500 \text{ W/m}^2$ .....	L-3
Gambar 3	Perubahan <i>Irradiance</i> $500 \text{ W/m}^2$ ke $250 \text{ W/m}^2$ .....	L-3
Gambar 4	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 1 pada <i>Irradiance</i> $1000 \text{ W/m}^2$ .....	L-4
Gambar 5	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 1 pada <i>Irradiance</i> $750 \text{ W/m}^2$ .....	L-4
Gambar 6	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 2 pada <i>Irradiance</i> $750 \text{ W/m}^2$ .....	L-5
Gambar 7	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 2 pada <i>Irradiance</i> $500 \text{ W/m}^2$ .....	L-5
Gambar 8	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 3 pada <i>Irradiance</i> $500 \text{ W/m}^2$ .....	L-5
Gambar 9	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 3 pada <i>Irradiance</i> $250 \text{ W/m}^2$ .....	L-6
Gambar 10	Perubahan Suhu $25 \text{ deg.C}$ ke $30 \text{ deg.C}$ .....	L-6
Gambar 11	Perubahan Suhu $25 \text{ deg.C}$ ke $40 \text{ deg.C}$ .....	L-6
Gambar 12	Perubahan Suhu $25 \text{ deg.C}$ ke $50 \text{ deg.C}$ .....	L-7
Gambar 13	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 4 pada Suhu $25 \text{ deg.C}$ .....	L-7
Gambar 14	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 4 pada Suhu $30 \text{ deg.C}$ .....	L-7
Gambar 15	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 5 pada Suhu $25 \text{ deg.C}$ .....	L-8
Gambar 16	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 5 pada Suhu $40 \text{ deg.C}$ .....	L-8
Gambar 17	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 6 pada Suhu $25 \text{ deg.C}$ .....	L-8
Gambar 18	<i>Total Harmonic Distortion</i> Kondisi 6 pada $50 \text{ deg.C}$ .....	L-9
Gambar 19	Kondisi Baterai dengan Perubahan <i>Irradiance</i> $1000 \text{ W/m}^2$ ke $0 \text{ W/m}^2$ .....	L-9
Gambar 20	Kondisi Baterai dengan Perubahan <i>Irradiance</i> $500 \text{ W/m}^2$ ke $0 \text{ W/m}^2$ .....	L-9
Gambar 21	Kondisi Baterai dengan Perubahan <i>Irradiance</i> $100 \text{ W/m}^2$ ke $0 \text{ W/m}^2$ .....	L-10
Gambar 22	<i>Total Harmonic Distortion</i> pada Arus Baterai saat <i>Discharge</i> ....	L-10