

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SINGKATAN	xii
Intisari	xiii
<i>Abstract</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
3.1 Tinjauan Pustaka	5
3.2 Landasan Teori	6
3.2.1 Inverter Satu Fasa.....	6
3.2.2 Spesifikasi Inverter.....	8
3.2.3 Teknik Penyaklaran SPWM.....	9
3.2.4 Saklar Semikonduktor dan Karakteristik Kendali Penyaklaran.....	11
3.2.5 MOSFET	13
3.2.6 Rangkaian Penggerak.....	15
3.2.7 STM32F401RE Nucleo.....	18
3.2.8 Zero Crossing Detector (frekuensi).....	19
BAB III PERANCANGAN SISTEM	20

3.1	Alat dan Bahan Penelitian	20
3.1.1	Perangkat Keras	20
4.1.1	Perangkat Lunak.....	20
3.2	Perancangan Perangkat Keras	20
3.2.1	Sistem Kendali Utama	20
3.2.2	Kendali Penggerak	23
3.2.3	<i>Zero Cross Detector</i>	23
3.2.4	Skema Rangkaian Sinkronisasi	26
3.3	Perancangan Perangkat Lunak	29
3.3.1	Pembuatan <i>Look up Table</i> Data Sinus	29
3.3.2	<i>Dead Time</i>	30
3.3.3	Frekuensi PWM	31
3.4	Program Utama.....	32
3.5	Alur Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Pengujian Sensor ZCD	35
4.1.1	Pengujian Keluaran Komparator LM358.....	35
4.1.2	Pengujian Keluaran Optocoupler 4N37	36
4.1.3	Pembacaan <i>Zero Crossing</i>	37
4.2	Pengujian Sinkronisasi PLN.....	40
4.2.1	Pengujian Baca <i>Start</i>	41
4.2.2	Pengubahan Nilai Frekuensi SPWM.....	43
4.2.3	Pengujian Algoritma Sinkronisasi.....	45
4.3	Pengujian Memberikan Daya	49
4.3.1	Pengujian Tidak Terhubung PLN dengan Tegangan Sama	49
4.3.2	Pengujian Memberikan Daya dengan V_{pp} Inverter Lebih Besar ...	50
4.3.3	Pengujian Tegangan Inverter Lebih Rendah dari <i>Grid</i>	52
4.3.4	Pengujian Terhubung <i>Grid</i> dengan Tegangan Inverter Dijaga Konstan	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		61
5.1	Kesimpulan.....	61



5.2	Saran	61
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LAMPIRAN 1 Listing Program Utama	64
	LAMPIRAN 2 Tabel <i>Prescaler Value</i> Hasil Pengujian	74
	LAMPIRAN 3 Perangkat Keras <i>Board Sistem Minimum</i>	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT Skala Kecil (MW) [4].....	1
Tabel 4.1 Data Pengujian Keterlambatan Sinyal Digital ZCD	39
Tabel 4.2 Perbandingan Data Prescaler Value dari Perhitungan dan Eksperimen	44
Tabel 4.3 Nilai Arus di Sisi Grid dan Inverter Berbanding dengan Nilai Tegangan Grid pada Tegangan Inverter 15 Vpp.....	54
Tabel 4.4 Nilai Arus di Sisi Grid dan Inverter Berbanding dengan Nilai Tegangan Grid pada Tegangan Inverter 30 Vpp.....	55
Tabel 4.5 Daya Transfer Beserta Sumbernya	56
Tabel 4.6 Nilai Arus di Sisi Grid dan Inverter Berbanding dengan Nilai Tegangan Grid pada Tegangan Inverter 45 Vpp.....	57
Tabel 4.7 Daya Transfer Beserta Sumbernya	58
Tabel 4.8 Nilai Arus di Sisi Grid dan Inverter Berbanding dengan Nilai Tegangan Grid pada Tegangan Inverter 30 Vpp.....	59
Tabel 4.9 Daya Transfer Beserta Sumbernya	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Inverter satu fase dengan topologi full-bridge.	7
Gambar 2.2 Teknik penyaklaran dengan SPWM unipolar [10].	9
Gambar 2.3 Proses pembentukan sinyal SPWM.	10
Gambar 2.4 Rangkaian gate drive sederhana [22].	12
Gambar 2.5 Kurva V_{gs} discharge [22].	12
Gambar 2.6 Karakteristik I_D vs V_{DS} [9].	13
Gambar 2.7 Losses pada MOSFET [9].	14
Gambar 2.8 Konfigurasi IR2110 secara umum [12].	15
Gambar 2.9 I/O timing diagram dengan fitur SD.	16
Gambar 2.10 Prinsip kerja <i>floating supply</i> pada IR2110, yaitu arah arus 1 adalah saat pengisian kapasitor dan arah arus 2 adalah pada saat <i>discharge</i> -nya.	18
Gambar 2.11 STM32F401RE Nucleo [15].	18
Gambar 2.12 Arduino-compatible headers dan morpho headers [15].	19
Gambar 2.13 Ilustrasi metode <i>zero crossing</i> : a) sinyal sinus input dan b) sinyal kotak yang dideteksi; titik <i>i</i> (<i>rising edge</i>) dan <i>ii</i> (<i>falling edge</i>) adalah titik <i>zero cross</i> -nya.	19
Gambar 3.1 Sistem kendali utama.	21
Gambar 3.2 Konfigurasi pin STM32F401RE Nucleo.	22
Gambar 3.3 Rangkaian kendali penggerak dengan IC IR2110.	23
Gambar 3.4 Pin LM358 [17].	24
Gambar 3.5 Desain pembagi tegangan.	25
Gambar 3.6 Desain <i>Zero Cross Detector</i>	25
Gambar 3.7 Skema rangkaian sinkronoskop terhubung inverter <i>stand-alone</i>	26
Gambar 3.8 Skema rangkaian sinkronoskop terhubung inverter terhubung tanpa komponen limiter.	27
Gambar 3.9 Skema rangkaian sinkronoskop terhubung inverter terhubung dengan komponen limiter.	28
Gambar 3.10 Data array pembuat gelombang sinus.	30
Gambar 3.11 Penyisipan dead-time pada sinyal sisi atas dan sisi bawah [20].	30

Gambar 3.12 Diagram alir program utama.	33
Gambar 3.13 Diagram alir penelitian.	34
Gambar 4.1 Sinyal kotak keluaran LM358 skala 1 V/Div dengan masukan gelombang AC dari <i>grid</i>	36
Gambar 4.2 Sinyal kotak keluaran optocoupler 4N37.	37
Gambar 4.3 Gambar sinyal digital keluaran ZCD (biru) yang mengalami keterlambatan terhadap sinyal sinus dari <i>grid</i> (merah).	38
Gambar 4.4 Dua sinyal sinus yang berbeda sudut fasanya: sinyal AC <i>grid</i> (merah) skala 20 V/Div dan sinyal SPWM (biru) skala 2 V/Div.	39
Gambar 4.5 <i>a)</i> adalah ilustrasi keluaran ZCD sesungguhnya dan <i>b)</i> adalah ilustrasi pembacaan STM32F401RE Nucleo yang telah dimanipulasi pada program.	40
Gambar 4.6 SPWM keluaran inverter skala 10 V/Div.	41
Gambar 4.7 Sinyal sinus tegangan AC <i>grid</i> (PLN) skala 10 V/Div.	42
Gambar 4.8 Sinyal AC tegangan <i>grid</i> (merah), sinyal SPWM (biru), dan arus <i>grid</i> (ungu) pada beban lampu 120V/60W skala 5 V/Div.	42
Gambar 4.9 <i>a)</i> adalah sinyal yang sudah sinkron; <i>b)</i> dan <i>c)</i> adalah kondisi sinyal SPWM yang ditoleransi (<i>b</i> mendahului dan <i>c</i> terlambat 9°); <i>d)</i> adalah kondisi sinyal SPWM saat mendahului pada rentang sudut puncak (10°-179°); dan <i>e)</i> adalah kondisi sinyal SPWM saat terlambat di rentang sudut lembah (180°-351°).	44
Gambar 4.10 Pengujian sinkronisasi skema <i>stand-alone</i> antara sinyal <i>grid</i> (kuning) skala 50 V/Div dan keluaran inverter/SPWM (biru) skala 20 V/Div.	46
Gambar 4.11 Sinyal <i>grid</i> (biru) skala 10 V/Div yang terhubung dengan inverter (hijau) skala 20 V/Div memunculkan <i>spike</i> pada arus (ungu) skala 100 mA/Div dari inverter yang menuju ke sambungan <i>grid</i> dan beban.	47
Gambar 4.12 Sinyal inverter (biru) skala 10 V/Div yang telah berhasil mengirimkan daya ke <i>grid</i> (merah) skala 10 V/Div, dengan arus dari inverter (ungu) 100 mA/Div lebih besar daripada arus dari <i>grid</i> (hijau) 400 mA/Div sehingga membalik polaritasnya.	48

Gambar 4.13 Sinyal <i>grid</i> (merah) skala 10 V/Div, sinyal inverter (biru) 10V/Div, arus inverter (ungu) skala 100 mA/Div, dan arus dari <i>grid</i> (hijau) skala 400 mA/Div menuju beban pada skema <i>stand-alone</i> dan V_{pp} keduanya sama.	49
Gambar 4.14 Sinyal <i>grid</i> (merah) skala 10 V/Div, sinyal inverter (biru) skala 10 V/Div, arus inverter (ungu) 100 mA/Div, dan arus dari <i>grid</i> (hijau) 400 mA/Div menuju beban pada skema <i>stand-alone</i> dan V_{pp} Inverter > V_{pp} <i>grid</i>	50
Gambar 4.15 Sinyal <i>grid</i> (merah) skala 10 V/Div, sinyal inverter (biru) skala 10 V/Div, arus inverter (ungu) skala 100 mA/Div, dan arus dari <i>grid</i> (hijau) skala 400 mA/Div menuju beban pada skema terhubung dan V_{pp} Inverter > V_{pp} <i>grid</i>	51
Gambar 4.16 Analisis rangkaian inverter menyuplai <i>grid</i>	51
Gambar 4.17 Sinyal <i>grid</i> (biru) skala 10 V/Div, sinyal inverter (merah) skala 10 V/Div, arus inverter (ungu) skala 1 A/Div, dan arus dari <i>grid</i> (hijau) skala 1 A/Div menuju beban pada skema <i>stand-alone</i> dan V_{pp} Inverter < V_{pp} <i>grid</i>	52
Gambar 4.18 Sinyal <i>grid</i> (biru) skala 10 V/Div, sinyal inverter (merah) skala 10 V/Div, arus inverter (ungu) skala 1 A/Div, dan arus dari <i>grid</i> (hijau) skala 1 A/Div menuju beban pada skema inverter terhubung <i>grid</i> dan V_{pp} Inverter < V_{pp} <i>grid</i>	53
Gambar 4.19 Grafik pengaruh besar selisih tegangan <i>grid</i> dengan tegangan inverter yang dijaga konstan (15 Vpp) pada Ipp dari kedua sumber.	54
Gambar 4.20 Grafik pengaruh besar selisih tegangan <i>grid</i> dengan tegangan inverter yang dijaga konstan (30 Vpp) pada Ipp dari kedua sumber.	56
Gambar 4.21 Grafik pengaruh besar selisih tegangan <i>grid</i> dengan tegangan inverter yang dijaga konstan (45 Vpp) pada Ipp dari kedua sumber.	58
Gambar 4.22 Grafik pengaruh besar selisih tegangan <i>grid</i> dengan tegangan inverter yang dijaga konstan (60 Vpp) pada Ipp dari kedua sumber.	59

DAFTAR SINGKATAN

A

AC *Alternating Current*

ADC *Analog to Digital Converter*

C

CPU *Central Processing Unit*

D

DC *Direct Current*

I

IC *Integrated Circuit*

L

LCD *Liquid Crystal Display*

M

MCU *Main Control Unit*

MOSFET *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*

O

Op-Amp *Operational Amplifier*

P

PLN *Perusahaan Listrik Negara*

PWM *Pulse Width Modulation*

R

RMS *Root Mean Square*

S

SPWM *Sinusoidal Pulse Width Modulation*

V

VSI *Voltage Source Inverter*

Z

ZCD *Zero Crossing Detection*