

**SIMULATOR ALGORITMA
PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL
SURYA PADA RANGKAIAN MODUL SURYA**

TESIS

Oleh

WIBENG DIPUTRA
06 06 00 3695



**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI MAGISTER TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

SIMULATOR ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA PADA RANGKAIAN MODUL SURYA

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Kekhususan Aplikasi Mikroprosesor Program Studi Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 7 Januari 2008

Wibeng Diputra

NPM 0606003695

PENGESAHAN

Tesis dengan judul :

SIMULATOR ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA PADA RANGKAIAN MODUL SURYA

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Kekhususan Aplikasi Mikroprosesor Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tesis ini telah diujikan pada sidang ujian tesis pada tanggal 3 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai tesis pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 7 Januari 2008

Dosen Pembimbing

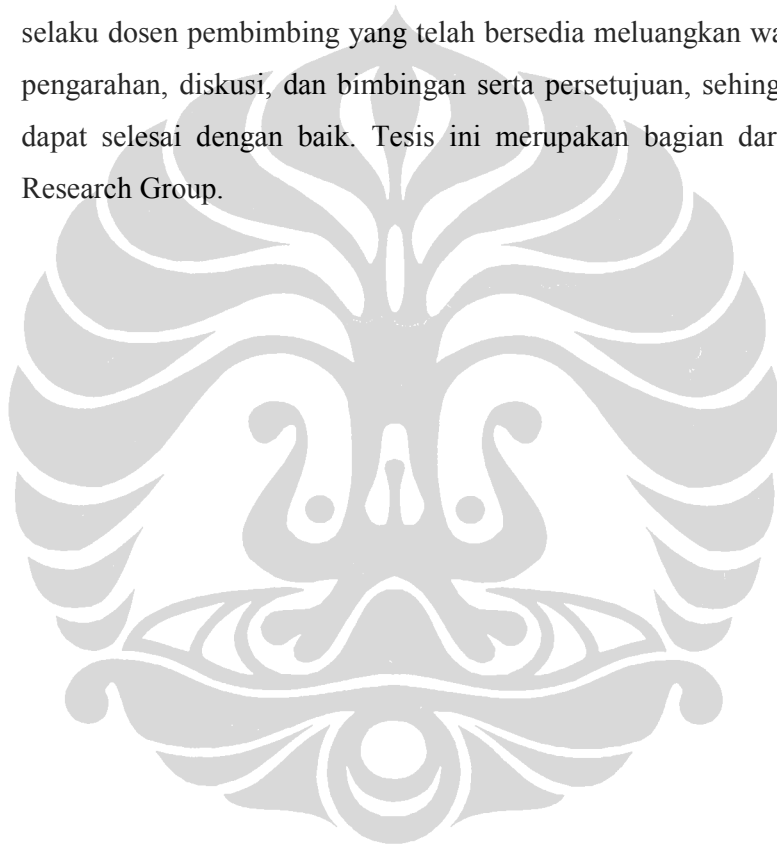
Prof. Dr. Ir. Nji Raden Poespawati, MT
NIP 131595837

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Prof. Dr. Ir. Nji Raden Poespawati, MT

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan, sehingga laporan tesis ini dapat selesai dengan baik. Tesis ini merupakan bagian dari Photonic Devices Research Group.



Wibeng Diputra
NPM 06 06 00 3695
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. N.R.Poespawati, MT

SIMULATOR ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA PADA RANGKAIAN MODUL SURYA

ABSTRAK

Berkurangnya ketersediaan energi fosil menyebabkan dunia mulai beralih ke penggunaan energi alternatif. Salah satu energi alternatif tersebut adalah energi surya melalui pemanfaatan sel surya. Sel surya menjadi pilihan karena ramah lingkungan, biaya produksi yang semakin menurun seiring dengan peningkatan jumlah produksi dan efisien sel surya yang cenderung naik.

Salah satu hal yang dapat mengurangi keluaran daya adalah kerusakan modul surya pada sistem. Hasil simulasi PSpice menunjukkan bahwa penurunan daya sistem tidak linear terhadap jumlah modul yang rusak.

Saat ini telah ada berbagai metode pendeteksi kerusakan modul surya, contohnya adalah pengukuran arus pada *bypass diode*, pemasangan LED pada *bypass diode*, atau melalui pengukuran temperatur. Penelitian ini menggunakan metode analisis kurva karakteristik daya rangkaian modul surya untuk mendeteksi adanya kerusakan dengan hanya menggunakan parameter arus dan tegangan. Umumnya sistem energi surya telah memiliki sensor arus dan tegangan, sehingga tidak diperlukan tambahan sensor untuk pendeteksian kerusakan modul menggunakan metode analisis kurva ini.

Berdasarkan kurva karakteristik rangkaian modul surya hasil simulasi Pspice yang memiliki sebuah atau lebih modul surya yang rusak, didapati bahwa kurva tersebut memiliki "jenjang / *ladder*", yang tidak dimiliki oleh kurva normal. Simulasi algoritma yang dibuat pada VB6.0 bekerja dengan cara menggambar kurva karakteristik sistem berdasarkan fungsi *irradiance* dan suhu modul, kemudian memeriksa indikasi "jenjang" kurva ini.

Pengujian pada simulasi menunjukkan bahwa algoritma pendeteksi kerusakan modul surya telah dapat mendeteksi kerusakan modul surya. Untuk pengujian berdasarkan data hasil pengukuran pada rangkaian seri dua modul surya dan pada rangkaian seri tiga modul surya dari Suntech STP005S diperlukan sedikit modifikasi pada algoritma. Hal ini disebabkan kontur "jenjang" pada kurva yang tidak horisontal sempurna. Toleransi kemiringan kurva untuk pengujian berdasarkan hasil pengukuran ini adalah sebesar 0,7 mA. Dengan toleransi ini, algoritma berhasil membedakan sistem yang normal dengan sistem yang memiliki kerusakan modul surya berdasarkan parameter arus dan tegangan.

Kata Kunci : Modul surya, PSpice, VB6.0, algoritma deteksi, jenjang/ladder

Wibeng Diputra
NPM 06 06 00 3695
Electrical Engineering Department

Counsellor
Prof. Dr. Ir. N.R.Poespawati, MT

SIMULATOR ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA PADA RANGKAIAN MODUL SURYA

ABSTRACT

Alternative energy has change the use of fossil energy in the world. One of the alternative energy which starts to be widely used was solar energy through the implementation of solar cell. Solar cell become a potential choice since its production's cost tend to go lower along with mass production, improvement on its efficiency, and also because this energy was environmental friendly.

One of matter which can lessen energy output is a broken or passive solar module in a system. Result from PSpice show that energy's degradation in a system doesn't linear to the amount of passive solar module.

Those are several methods to detect failure on solar module, example: current probe on bypass diode, using LED on bypass diode, or using temperature detection. This research contributes a method that could detect failure on solar module using power curve analysis. Generally, solar system had already has current and voltage sensor, so there are no need to add extra sensor to implement this curve analysis method.

Refer from Pspice simulation result of a string module power curve which has one passive module or more, known that the curve has "ladder" that a normal curve doesn't has it. Simulation of detection algorithm on VB6.0 works by drawing characteristic curve and by checking curve's difference as parameter detection.

Simulation in VB6.0 showed that detection algorithm had success to detect passive solar module. In order to detect failure on solar module based on measurement data from two series string solar module and three series of STP005S string solar module, detection algorithm need a modification. This is because the horizontal line of the "ladder" didn't perfectly horizontal. With 0,7 mA toleration, algorithm has succeed to detect passive solar module.

Keywords : Solar module, Pspice, VB6.0, detection algorithm, ladder

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
PERSETUJUAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.5.1 Analisa Permasalahan Dan Kebutuhan	4
1.5.2 Kajian Literatur	4
1.5.3 Simulasi Rangkaian Modul Surya	4
1.5.4 Pengujian Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II SEL SURYA	6
2.1 PRINSIP KERJA SEL SURYA	6
2.2 KARAKTERISTIK SEL SURYA	8
2.2.1 Kurva V-I Sel Surya	8
2.2.2 Arus Hubung Singkat (I_{sc}) Pada Sel Surya	9
2.2.3 Tegangan Hubung Terbuka (V_{oc}) Pada Sel Surya	9

2.2.4	Pengaruh <i>Irradiance</i> Terhadap Sel Surya	10
2.2.5	Pengaruh Suhu Terhadap Sel Surya	11
2.2.6	<i>Maximum Power Point (MPP)</i>	12
2.2.7	Efisiensi Sel Surya	13
2.3	PEMODELAN SEL SURYA	14
2.4	RANGKAIAN MODUL SURYA	16
2.4.1	Koneksi Antar Modul Surya	16
2.4.2	" <i>Hot Spot</i> "	17
2.4.3	Perbedaan Daya Antar Sel Pada Rangkaian Paralel Sel Surya	18
2.4.4	Perbedaan Daya Antar Sel Pada Rangkaian Seri Sel Surya	19
2.5	KERUSAKAN MODUL SURYA	20
BAB III	ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA	22
3.1	PENG GAMBARAN KURVA KARAKTERISTIK MODUL SURYA	23
3.1.1	Penggambaran Karakteristik Modul Surya Pada PSpice	23
3.1.2	Penggambaran Karakteristik Modul Surya Pada VB6.0	24
3.2	SIMULASI KERUSAKAN MODUL SURYA	25
3.3	RANCANGAN ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA	26
3.3.1	Rancangan Algoritma Untuk Kondisi Ideal	27
3.3.2	Rancangan Algoritma Untuk Kondisi Non-ideal	28
3.4	CARA PENGUJIAN	30
BAB IV	UJI COBA DAN ANALISA	31
4.1	PENGUJIAN HASIL SIMULASI MODUL SURYA	31
4.1.1	Modul Surya Solarex MSX-60	32
4.1.2	Modul Surya Schott Solar ASE-50-ETF	33
4.1.3	Modul Surya Suntech STP005S	35
4.2	SIMULASI DAN ANALISA KERUSAKAN MODUL SURYA	38
4.2.1	Analisa Pada Rangkaian Dua Modul Surya Seri Dan Dua Modul Surya Paralel	38

4.2.2	Analisa Pada Rangkaian Tiga Modul Surya Seri Dan Tiga Modul Surya Paralel	40
4.3	ALGORITMA PENGGAMBAR KURVA KARAKTERISTIK MODUL SURYA	41
4.3.1	Perancangan Algoritma Penggambar Kurva	41
4.3.2	Pengujian Algoritma Penggambar Kurva	44
4.3.2.1	Uji Coba Algoritma Penggambar Karakteristik Pada Rangkaian Tiga Modul Surya Seri	45
4.3.2.2	Uji Coba Algoritma Penggambar Karakteristik Pada Rangkaian Tiga Modul Surya Paralel	47
4.3.2.3	Uji Coba Algoritma Penggambar Karakteristik Pada Rangkaian Modul Surya Dua Seri Dan Dua Paralel	49
4.3	PENGUJIAN ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA SECARA SIMULASI	52
4.4.1	Pengujian Algoritma Pendeteksi Pada Solarex MSX-60	52
4.4.2	Pengujian Algoritma Pendeteksi Pada ASE-50-ETF	54
4.4.3	Pengujian Algoritma Pendeteksi Pada Suntech STP005S	55
4.4	PENGUJIAN ALGORITMA PENDETEKSI KERUSAKAN MODUL SURYA BERDASARKAN HASIL PENGUKURAN	57
4.5.1	Pengujian Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Seri Dua Modul Surya	57
4.5.1.1	Rangkaian Seri Dua Modul Surya Normal	58
4.5.1.2	Rangkaian Seri Dua Modul Surya Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul	59
4.5.2	Pengujian Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Seri Tiga Modul Surya	61
4.5.2.1	Rangkaian Seri Tiga Modul Surya Normal	62
4.5.2.2	Rangkaian Seri Tiga Modul Surya Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul	63
	BAB V KESIMPULAN	66
	DAFTAR ACUAN	67
	DAFTAR PUSTAKA	69
	LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>PN junction</i>	7
Gambar 2.2 Karakteristik dioda pada kondisi gelap dan teriluminasi	7
Gambar 2.3 Kurva karakteristik sel surya	9
Gambar 2.4 Karakteristik kurva V-I terhadap perubahan <i>irradiance</i>	11
Gambar 2.5 Karakteristik kurva V-I terhadap perubahan suhu	11
Gambar 2.6 Kurva V-I dan kurva daya sel surya	12
Gambar 2.7 Kurva daya modul surya 75 W pada MPP	12
Gambar 2.8 Proses pemodelan	14
Gambar 2.9 <i>Equivalent circuit</i> model sel surya satu dioda	15
Gambar 2.10 Kurva V-I untuk N sel seri dan M sel paralel	17
Gambar 2.11 Satu modul pasif dalam modul surya	17
Gambar 2.12 Pemasangan <i>bypass diode</i> pada rangkaian modul surya	17
Gambar 2.13 Keluaran daya dengan dan tanpa <i>bypass diode</i>	18
Gambar 2.14 Kombinasi arus pada dua modul paralel yang tidak identik	19
Gambar 2.15 Metode menentukan Voc pada rangkaian dua modul surya paralel	19
Gambar 2.16 Kombinasi Voc pada dua modul surya seri yang tidak identik	20
Gambar 2.17 Metode menentukan Isc pada rangkaian dua modul surya seri	20
Gambar 2.18 Kurva modul surya yang beberapa selnya tidak menghasilkan daya	21
Gambar 3.1 Alur metode pembuatan simulator	22
Gambar 3.2 Model PSpice Untuk Modul Surya	24
Gambar 3.3 Pergeseran nilai MPP akibat perbedaan daya antar modul	26
Gambar 3.4 Diagram blok sistem energi surya konvensional	26
Gambar 3.5 Keterangan variabel algoritma	27
Gambar 3.6 Diagram alir algoritma pendeteksi	28
Gambar 3.7 Model untuk mengukur karakteristik modul surya	30
Gambar 4.1 Hasil simulasi Solarex MSX-60 (a) <i>Datasheet</i> (b) Simulasi PSpice (c) Simulasi VB 6.0	32

Gambar 4.2	Hasil simulasi ASE-50-ETF (a) <i>Datasheet</i> (b) Simulasi PSpice (c) Simulasi VB 6.0	34
Gambar 4.3	Hasil simulasi ASE-50-ETF (a) <i>Datasheet</i> (b) Simulasi PSpice (c) Simulasi VB 6.0	36
Gambar 4.4	(a) Susunan rangkaian modul surya 2X2 (b) Kurva karakteristik pada kondisi normal (c) Kurva karakteristik dengan kerusakan modul	38
Gambar 4.5	Kurva dioda pada rangkaian modul surya	39
Gambar 4.6	(a) Susunan rangkaian modul surya 3X3 (b) Kurva karakteristik pada kondisi normal (c) Kurva karakteristik dengan kerusakan modul	40
Gambar 4.7	Kurva rangkaian modul surya 3x3 dengan kerusakan pada modul kesatu	41
Gambar 4.8	Penjelasan jenjang pada kurva dengan kerusakan pada modul kesatu	42
Gambar 4.9	Alur algoritma penggambar kurva karakteristik	43
Gambar 4.10	Rangkaian modul surya dengan <i>irradiance</i> yang terurut	43
Gambar 4.11	Kedudukan Isc dan Voc pada kurva	44
Gambar 4.12	(a) Susunan modul surya (b1) Simulasi normal PSpice (b2) Simulasi normal VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Sebuah modul tidak menghasilkan daya sama sekali pada PSpice (d2) Sebuah modul tidak menghasilkan daya sama sekali pada VB6.0	45
Gambar 4.13	(a) Susunan modul surya (b1) Simulasi normal PSpice (b2) Simulasi normal VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0	47
Gambar 4.14	(a) Susunan modul surya (b1) Modul normal dengan PSpice (b2) Modul normal dengan VB6.0 (c1) Beda daya pada modul satu dengan PSpice (c2) Beda daya pada modul satu dengan VB6.0 (d1) Beda daya pada modul satu dan dua dengan PSpice (d2) Beda daya pada modul satu dan dua dengan VB6.0 (e1) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan PSpice (e2) Beda daya pada satu rangkaian seri dengan VB6.0 (f1) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan PSpice (f2) Beda daya pada satu rangkaian paralel dengan VB6.0	49
Gambar 4.15	Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Solarex MSX-60	53

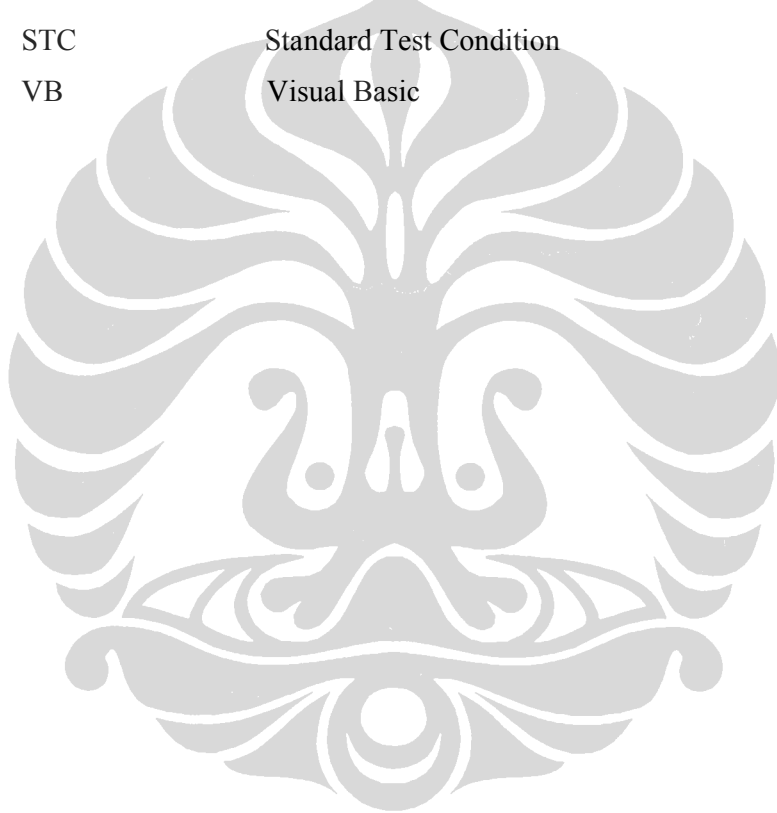
Gambar 4.16	Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Solarex MSX-60 dengan kerusakan pada salah satu modulnya	53
Gambar 4.17	Simulasi pengujian algoritma deteksi pada ASE-50-ETF	54
Gambar 4.18	Simulasi pengujian algoritma deteksi pada ASE-50-ETF dengan kerusakan modul	55
Gambar 4.19	Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Suntech STP005S	56
Gambar 4.20	Simulasi pengujian algoritma deteksi pada Suntech STP005S dengan kerusakan modul	56
Gambar 4.21	Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri dua modul surya pada kondisi normal	58
Gambar 4.22	Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri dua modul surya normal	59
Gambar 4.23	Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri dua modul surya pada kondisi dengan kerusakan pada salah satu modul surya	60
Gambar 4.24	Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri dua modul surya dengan kerusakan pada salah satu modul	61
Gambar 4.25	Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri tiga modul surya pada kondisi normal	62
Gambar 4.26	Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri tiga modul surya normal	63
Gambar 4.27	Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk rangkaian seri tiga modul surya pada kondisi dengan kerusakan pada salah satu modul surya	64
Gambar 4.28	Hasil pengujian algoritma deteksi dengan data pengukuran dari rangkaian seri tiga modul surya dengan kerusakan pada salah satu modul	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan Metode <i>Maximum Power Point Tracking</i>	13
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi Solarex MSX-60 Terhadap <i>Datasheet</i>	33
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi ASE-50-ETF Terhadap <i>Datasheet</i>	35
Tabel 4.3 Perbandingan hasil simulasi STP005S pada <i>irradiance</i> 1000 W/m ²	37
Tabel 4.4 Perbandingan hasil simulasi STP005S pada <i>irradiance</i> 800 W/m ²	37
Tabel 4.5 Perbandingan hasil simulasi STP005S pada <i>irradiance</i> 600 W/m ²	37
Tabel 4.6 <i>Irradiance</i> untuk simulasi rangkaian modul 2x2	39
Tabel 4.7 <i>Irradiance</i> untuk simulasi rangkaian modul 3x3	41
Tabel 4.8 Nilai <i>irradiance</i> untuk rangkaian tiga modul surya seri	45
Tabel 4.9 Nilai <i>irradiance</i> untuk rangkaian tiga modul surya paralel	47
Tabel 4.10 Nilai <i>irradiance</i> untuk rangkaian modul surya dua seri dan dua paralel	49
Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Normal	58
Tabel 4.12 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Normal	59
Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul Surya	60
Tabel 4.14 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Dua Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul	60
Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Normal	62
Tabel 4.16 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Normal	62
Tabel 4.17 Hasil Pengukuran Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Modul Surya	63
Tabel 4.18 Perbedaan Hasil Simulasi Terhadap Hasil Pengukuran Untuk Rangkaian Tiga Modul Surya Pada Kondisi Dengan Kerusakan Pada Salah Satu Modul	64

DAFTAR SINGKATAN

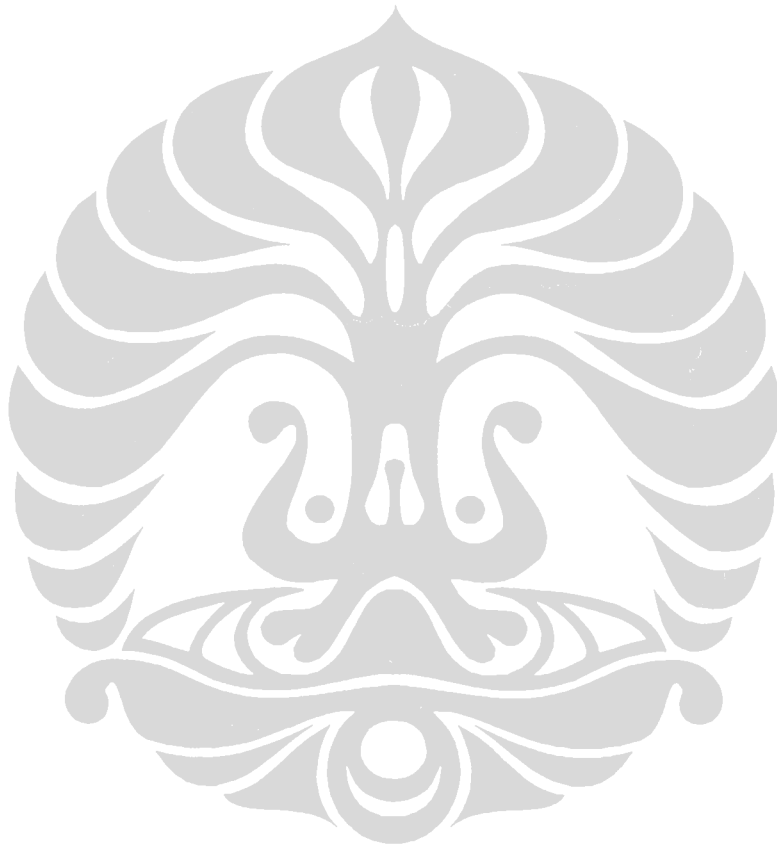
AM	Air Mass
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracking
Pspice	Personal (Computer) Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
PWM	Pulse Width Modulation
STC	Standard Test Condition
VB	Visual Basic



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
A	Luas area sel atau modul surya	m ²
λ	Panjang gelombang	m
c	Kecepatan cahaya	m/s
E	Energi	Joule
η	Efisiensi	-
f	Frekuensi	Hz
FF	<i>Fill Factor</i>	-
G	<i>Irradiance</i>	W/m ²
G _(nom)	<i>Irradiance pada Standard Test Condition</i>	W/m ²
h	Konstanta Planck	Js
I	Arus pada terminal sel atau modul surya	A
I _{λ}	<i>Spectral irradiance</i>	W/m ² μ m
I _L	Arus yang dihasilkan oleh cahaya	A
I _{L(T1)}	Arus yang dihasilkan cahaya pada T1	A
I _m	Arus pada saat MPP	A
I _o	Arus saturasi dioda	A
I _{o(T1)}	Arus saturasi dioda pada saat T1	A
I _{sc}	Arus hubung singkat	A
I _{sc(T1)}	Arus hubung singkat pada T1	A
J _L	Arus yang dihasilkan cahaya per satuan luas	A/m ²
J _o	Arus saturasi dioda per satuan luas	A/m ²
J _{sc}	Arus hubung singkat per satuan luas	A/m ²
k	Konstanta Boltzmann	J/K
n	Diode quality factor	-
q	Muatan elektron	C
R _s	Resistensi seri	Ω
T	Temperatur ambien	K
V	Tegangan terminal sel atau modul surya	V

V_m	Tegangan pada saat MPP	V
V_g	Tegangan band gap	V
V_{oc}	Tegangan hubung terbuka	V



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Datasheet</i> Solarex MSX-60	72
Lampiran 2 <i>Datasheet</i> Schott Solar ASE-50-ETF	76
Lampiran 3 <i>Datasheet</i> Swisco Solar STP005S-12/Db	78
Lampiran 4 Pengukuran Rangkaian Modul Surya	80

