

PEMODELAN DAN SIMULASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKER* (MPPT) PADA SISTEM PANEL SURYA (*PHOTOVOLTAIC SOLAR PANEL*) MENGGUNAKAN METODE *POWER FEEDBACK* DAN *VOLTAGE FEEDBACK*

Disusun Oleh:

Nama : Yangmulia Tuanov Sitorus

NRP : 0722078

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha,
Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri, MPH No. 65, Bandung, Indonesia,

ABSTRAK

Peran *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) pada sistem panel surya adalah untuk mengoperasikan titik kerja dari modul panel surya agar berada pada *Maximum Power Point* (MPP), sehingga transfer daya dari modul dapat dimaksimalkan, dan efisiensi sistem panel surya dapat ditingkatkan. Sistem panel surya terdiri dari modul panel surya, MPPT, dan baterai. Setiap komponen pada sistem panel surya dimodelkan ke dalam Simulink-Matlab™. Pada tugas akhir ini, digunakan metode MPPT *voltage feedback* dan *power feedback* karena kedua metode tersebut cukup sederhana dan mudah untuk diimplementasikan. Selanjutnya, kedua metode MPPT tersebut disimulasikan pada tiga kondisi yang berbeda, yaitu kondisi ideal, kondisi kenaikan radiasi matahari secara perlahan, dan kondisi perubahan radiasi matahari serta suhu modul panel surya secara cepat dan tidak beraturan. Melalui ketiga kondisi tersebut, kinerja dari metode *power feedback* dan *voltage feedback* akan dianalisa dan dibandingkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa efisiensi sistem panel surya ketika menggunakan metode *power feedback* lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode *voltage feedback*.

Kata kunci : MPPT, Sistem panel surya, MPP, *Voltage feedback*, *Power feedback*.

MODELING AND SIMULATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) IN PHOTOVOLTAIC SOLAR PANEL SYSTEM USING VOLTAGE FEEDBACK AND POWER FEEDBACK METHOD

Composed by:

Name : Yangmulia Tuanov Sitorus

NRP : 0722078

Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Maranatha Christian University,
Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri, MPH No. 65, Bandung, Indonesia,

ABSTRACT

The role of Maximum Power Point Tracker (MPPT) is to operate solar panel module at its Maximum Power Point (MPP) so as the power transfer from module can be maximized, and the efficiency of solar panel system can be increased. The system consists of a solar panel module, a MPPT, and a battery. Each component is modeled into the Simulink-Matlab™. In this final project, MPPT with voltage feedback and power feedback methods are used since both method are relatively simple and easy to implement. Furthermore, both methods will be simulated in three different conditions including ideal condition, slowly increasing solar radiation, and rapidly-irregularly change of solar radiation and temperature of solar panel module. Through those conditions, the performance of MPPT voltage feedback and power feedback method are analyzed and compared. Simulation shows that efficiency of solar panel system with power feedback method is higher than voltage feedback method.

Keywords: MPPT, solar panel systems, MPP, Voltage feedback, Power feedback.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
 BAB I PENDAHULUAN	 1
I.1 Latar Belakang Masalah.....	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan	2
I.4 Pembatasan Masalah	2
I.5 Metodologi Penelitian	3
I.6 Sistematika Penulisan	3
 BAB II LANDASAN TEORI	 5
II.1 Pendahuluan	5
II.2 Panel Surya (<i>Photovoltaic Solar Panel</i>)	5
II.2.1 Tinjauan Umum Panel Surya.....	5
II.2.2 Prinsip Dasar Teknologi Panel Surya.....	6
II.2.3 Pemodelan Sel Surya (<i>Photovoltaic Cell</i>).....	7
II.2.3.1 Sel Surya Ideal.....	7
II.2.3.2 Sel Surya Tidak Ideal.....	10
II.2.4 Faktor Pengoperasian Sel Surya.....	12
II.2.5 Pemodelan Modul Panel Surya.....	15
II.2.6 Pemodelan <i>Solar Array</i>	16
II.3 Konverter DC-DC.....	18
II.3.1 Pendahuluan.....	18

II.3.2 Rangkaian Ekuivalen Model Konverter DC-DC <i>Buck-Boost</i>	20
II.3.3 Pendekatan Sinyal-Sinyal Kecil.....	23
II.3.4 Prinsip <i>Volt-Second Balanced</i> dan <i>Charged-Balanced</i>	24
II.3.5 MOSFET <i>Switching Loss</i>	25
II.3.6 Penentuan <i>Ripple</i> Tegangan (ΔV_O) dan <i>Ripple</i> Arus (ΔI_L)	26
II.3.7 Pemodelan Konverter DC-DC <i>Buck-Boost</i>	28
II.4 Baterai	31
 BAB III <i>MAXIMUM POWER POINT TRACKER</i> (MPPT).....	33
III.1 Pendahuluan	33
III.2 Cara Kerja MPPT.....	35
III.3 Metode <i>Voltage Feedback</i>	37
III.4 Metode <i>Power Feedback</i>	41
III.4.1 Algoritma <i>Perturb and Observe</i> (P&O)	41
III.4.2 Algoritma <i>Incremental Conductance</i> (<i>InC</i>)	45
III.5 Spesifikasi Desain Konverter DC - DC <i>Buck-Boost</i>	50
 BAB IV SIMULASI DAN EVALUASI.....	53
IV.1 Pendahuluan.....	53
IV.2 Pemodelan Sistem.....	55
IV.2.1 Modul Panel Surya.....	55
IV.2.2 Baterai (<i>Lead-Acid</i>).....	56
IV.2.3 Konverter DC-DC <i>Buck-Boost</i>	57
IV.2.4 Pengendali MPPT.....	58
IV.3 Simulasi MPPT.....	59
IV.3.1 Kinerja MPPT pada saat kondisi ideal.....	59
IV.3.1.1 Menggunakan Baterai 12V.....	61
IV.3.1.2 Menggunakan Baterai 12V (Dirangkai seri)	73
IV.3.2 Kinerja MPPT pada saat radiasi matahari meningkat secara perlahan.....	76

IV.3.3 Kinerja MPPT pada kondisi perubahan radiasi matahari dan suhu modul panel surya secara cepat dan tidak beraturan.....	86
--	----

BAB V PENUTUP	93
V.1 Kesimpulan	93
V.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN A – PEMODELAN KOMPONEN-KOMPONEN PADA SISTEM PANEL SURYA KEDALAM SIMULINK™.....	A-1
LAMPIRAN B – PARAMETER-PARAMETER PADA BLOK SIMULINK™ - MATLAB™.....	B-1
LAMPIRAN C – DATA SHEET	C-1

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1 Sel surya, modul panel surya, dan <i>solar array</i>	6
Gambar II.2 <i>Photovoltaic effect</i>	6
Gambar II.3 Model sel surya ideal.....	7
Gambar II.4 Kurva I-V sel surya.....	8
Gambar II.5 Tiga parameter sel surya.....	9
Gambar II.6 Sel surya ketika <i>short-circuit</i> dan <i>open-circuit</i>	10
Gambar II.7 Pengaruh tahanan seri (R_s) dan tahanan paralel (R_p) terhadap kurva I-V pada sel surya.....	10
Gambar II.8 Tahanan seri (R_s) pada sel surya.....	11
Gambar II.9 Model sel surya tidak ideal.....	12
Gambar II.10 Pengaruh temperatur terhadap karakteristik kurva I-V pada sel surya.....	13
Gambar II.11 Pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap karakteristik kurva I-V pada sel surya.....	14
Gambar II.12 Pemodelan modul panel surya yang terdiri dari susunan seri sel surya.....	15
Gambar II.13 Pengaruh susunan sel surya yang terhubung secara seri terhadap kurva I-V.....	16
Gambar II.14 Pemodelan <i>solar array</i> yang terdiri dari kombinasi susunan seri- paralel modul panel surya.....	16
Gambar II.15 Kombinasi seri-paralel pada modul-modul panel surya menjadi <i>solar array</i>	17
Gambar II.16 Sirkuit konverter DC-DC <i>buck boost</i>	18
Gambar II.17 Pemodelan konverter DC-DC <i>buck-boost</i>	19
Gambar II.18 Tegangan switch $V_s(t)$, <i>duty cycle</i> D , dan periode <i>switching</i> T_s	20

Gambar II.19	Rangkaian ekuivalen konverter DC-DC <i>buck-boost</i> ketika <i>switch</i> tertutup selang waktu DT_s , dan ketika <i>switch</i> terbuka selang waktu $D'T_s$	21
Gambar II.20	Bentuk gelombang tegangan induktor V_L pada konverter DC-DC <i>buck-boost</i>	22
Gambar II.21	Hubungan antara <i>duty cycle</i> (D) dengan <i>conversion ratio</i> pada konverter <i>buck-boost</i> tidak ideal, melibatkan pengaruh MOSFET <i>switching loss</i>	29
Gambar II.22	Hubungan antara <i>duty cycle</i> (D) dengan efisiensi konverter DC-DC <i>buck-boost</i>	30
Gambar II.23	Hubungan antara tahanan <i>input</i> dan tahanan <i>output</i> pada konverter DC-DC <i>buck-boost</i> sebagai fungsi dari <i>duty cycle</i>	31
Gambar II.24	Sirkuit sederhana baterai.....	32
Gambar III.1	Kurva arus-tegangan (I - V) pada modul panel surya.....	33
Gambar III.2	Sistem pengisian baterai 12 V pada kondisi radiasi dan suhu konstan.....	34
Gambar III.3	Komponen dasar MPPT, diagram blok mekanisme <i>matching impedance</i> , dan transfer daya ke beban dengan variasi nilai R_{in}	35
Gambar III.4	Prinsip kerja metode <i>voltage feedback</i>	37
Gambar III.5	Diagram blok metode <i>voltage feedback</i>	38
Gambar III.6	Diagram alur algoritma tegangan konstan.....	40
Gambar III.7	Diagram blok metode <i>power feedback</i>	41
Gambar III.8	Cara kerja algoritma <i>perturb and observe</i> (P&O).....	42
Gambar III.9	Diagram alur algoritma <i>perturb and observe</i> (P&O).....	44
Gambar III.10	Cara kerja algoritma <i>Incremental Conductance</i> (InC).....	45
Gambar III.11a	Perilaku algoritma InC dan P&O pada saat terjadi kenaikan radiasi matahari secara tiba-tiba.....	47

Gambar III.11b Perilaku algoritma InC dan P&O pada saat terjadi kenaikan radiasi matahari secara tiba-tiba.....	48
Gambar III.12 Diagram alur algoritma InC.....	49
Gambar IV.1 Pemodelan sistem panel surya pada Simulink™.....	54
Gambar IV.2 Blok <i>MinMax Running Resettable</i> pada <i>simulink library browser</i>	54
Gambar IV.3 Blok Simulink™ modul panel surya dan <i>solar array</i>	55
Gambar IV.4 Blok Simulink™ baterai 12V.....	56
Gambar IV.5 Blok Simulink™ baterai 24V.....	57
Gambar IV.6 Blok Simulink™ konverter DC-DC <i>buck-boost</i>	57
Gambar IV.7 Blok Simulink™ pengendali MPPT.....	59
Gambar IV.8 Kurva I-V, dan kurva P-V modul panel surya pada saat kondisi ideal.....	60
Gambar IV.9a Kinerja MPPT melalui kurva I-V pada kondisi ideal, menggunakan baterai 12V.....	61
Gambar IV.9b Kinerja MPPT melalui kurva P-V pada kondisi ideal, menggunakan baterai 12V.....	62
Gambar IV.10 Plot arus, tegangan, dan daya ketika menggunakan nilai dD sebesar 0,001.....	64
Gambar IV.11 Perubahan nilai <i>duty cycle</i> yang disertai dengan perubahan tahanan modul panel surya (R_{in}) dan tahanan ekuivalen baterai (R_o)	65
Gambar IV.12 Plot arus, tegangan, dan daya ketika menggunakan nilai dD sebesar 0,001.....	67
Gambar IV.13 Plot daya ketika menggunakan nilai dD sebesar 0,02 dan 0,0009.....	69
Gambar IV.14 Grafik peningkatan efisiensi sistem panel surya ketika menggunakan nilai dD sebesar 0,0009; 0,001; 0,01; 0,02.....	70
Gambar IV.15 Plot daya ketika menggunakan algoritma P&O dengan nilai dD sebesar 0,001 dan 0,01.....	71
Gambar IV.16 Plot daya ketika menggunakan algoritma InC dengan nilai dD sebesar 0,001 dan 0,01.....	72

Gambar IV.17a Kinerja MPPT melalui kurva I-V pada kondisi ideal, ketika menggunakan 2 buah baterai 12V yang dirangkai seri menjadi 24V.....	74
Gambar IV.17b Kinerja MPPT melalui kurva P-V pada kondisi ideal, ketika menggunakan 2 buah baterai 12V yang dirangkai seri menjadi 24V.....	74
Gambar IV.18 Kurva I-V dan kurva P-V modul panel surya pada kondisi kenaikan radiasi secara perlahan	77
Gambar IV.19 Kinerja MPPT melalui kurva I-V dan kurva P-V pada kondisi kenaikan radiasi secara perlahan	78
Gambar IV.20 Lingkaran A dan B pada kurva P-V yang telah diperbesar.....	79
Gambar IV.21 Plot daya ketika sistem tidak menggunakan MPPT.....	80
Gambar IV.22 Plot daya ketika sistem menggunakan MPPT (metode <i>voltage feedback</i>) dengan nilai dD sebesar 0,001 dan 0,01.....	82
Gambar IV.23 Plot daya ketika sistem menggunakan MPPT metode <i>power feedback</i> (algoritma P&O), dengan nilai dD sebesar 0,01 dan 0,001	83
Gambar IV.24 Plot daya ketika sistem menggunakan MPPT metode <i>power feedback</i> (algoritma InC), dengan nilai dD sebesar 0,01 dan 0,001	84
Gambar IV.25 Grafik peningkatan efisiensi sistem panel surya pada kondisi kenaikan radiasi matahari secara perlahan, ketika menggunakan MPPT dengan metode <i>voltage feedback</i> dan <i>power feedback</i>	86
Gambar IV.26a Plot radiasi matahari selama 120 detik.....	86
Gambar IV.26b Plot suhu modul panel surya selama 120 detik.....	87
Gambar IV.27 Plot daya ketika sistem menggunakan MPPT metode <i>voltage feedback</i> , dengan nilai dD sebesar 0,001 dan 0,01.....	88
Gambar IV.28 Plot daya ketika sistem menggunakan MPPT metode <i>power feedback</i> (algoritma P&O), dengan nilai dD sebesar 0,001 dan 0,01.....	89

Gambar IV.29 Plot daya ketika sistem menggunakan MPPT metode <i>power feedback</i> (algoritma InC), dengan nilai dD sebesar 0,001 dan 0,01.....	91
Gambar IV.30 Grafik peningkatan efisiensi sistem panel surya pada kondisi perubahan radiasi matahari dan suhu modul panel surya secara cepat dan tidak beraturan, ketika menggunakan MPPT dengan metode <i>voltage feedback</i> dan <i>power feedback</i>	92

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel III.1 Spesifikasi desain konverter DC-DC <i>buck-boost</i>	50
Tabel IV.1 Parameter modul SM55.....	56
Tabel IV.2 Kinerja MPPT dengan metode <i>voltage feedback</i> pada kondisi ideal.....	70
Tabel IV.3 Kinerja MPPT menggunakan algoritma P&O pada kondisi Ideal..	71
Tabel IV.4 Kinerja MPPT menggunakan algoritma InC pada kondisi Ideal...	72
Tabel IV.5 Kinerja MPPT dengan metode <i>voltage feedback</i> pada kondisi ideal, menggunakan 2 buah baterai 12V yang dirangkai secara seri.....	75
Tabel IV.6 Kinerja MPPT dengan metode <i>power feedback</i> (algoritma P&O) pada kondisi ideal, menggunakan 2 buah baterai 12V yang dirangkai secara seri.....	75
Tabel IV.7 Kinerja MPPT dengan metode <i>power feedback</i> (algoritma InC) pada kondisi ideal, menggunakan 2 buah baterai 12V yang dirangkai secara seri.....	75
Tabel IV.8 Kinerja MPPT dengan metode <i>voltage feedback</i> , pada kondisi kenaikan radiasi matahari secara perlahan.....	81
Tabel IV.9 Kinerja MPPT dengan metode <i>power feedback</i> (algoritma P&O), pada kondisi kenaikan radiasi matahari secara perlahan	82
Tabel IV.10 Kinerja MPPT dengan metode <i>power feedback</i> (algoritma InC), pada kondisi kenaikan radiasi matahari secara perlahan.....	84
Tabel IV.11 Kinerja MPPT dengan metode <i>voltage feedback</i> , pada kondisi perubahan radiasi matahari dan suhu modul panel surya secara cepat dan tidak beraturan	87
Tabel IV.12 Kinerja MPPT dengan algoritma P&O, pada kondisi perubahan radiasi matahari dan suhu modul panel surya secara cepat dan tidak beraturan.....	89

Tabel IV.13 Kinerja MPPT dengan algoritma InC, pada kondisi perubahan radiasi matahari dan suhu modul panel surya secara cepat dan tidak beraturan.....	90
---	----