

MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK UNTUK PANEL SURYA

ALFONSUS HARYO SANGAJI

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : haryo.alfon@gmail.com

TRI RIJANTO

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : tririjanto@unesa.ac.id

Abstrak

Salah satu sumber energi terbarukan sebagai energi alternatif untuk diterapkan di wilayah Indonesia ialah penggunaan energi matahari. Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Perubahan penyinaran dan temperatur permukaan panel surya menyebabkan perubahan daya keluaran panel surya. Daya keluaran panel surya dapat dimaksimalkan dengan MPPT (*maximum power point tracking*). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi tentang perbandingan daya keluaran panel surya dengan dan tanpa menggunakan MPPT ketika terjadi perubahan radiasi cahaya matahari dan suhu permukaan panel surya. Metode penelitian ini menggunakan metode rekayasa dengan fokus mengontrol besar pulsa sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang disalurkan ke DC-DC *buck-boost converter* untuk mencari titik daya maksimum dengan menggunakan *artificial neural network*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Distribusi Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya yang dilaksanakan pada bulan Mei - Agustus 2017. Hasil penelitian pengaruh suhu dan iradiasi matahari terhadap daya menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan panel surya menggunakan MPPT *Neural Network* lebih baik dari panel surya tanpa MPPT. Nilai daya rata-rata dari setiap 20 menit yang dihasilkan panel surya dengan atau tanpa MPPT *Neural Network* selama 9 jam adalah 27,80 W dan 27,02 W.

Kata Kunci : Panel Surya, MPPT, *Neural Network*, *Buck-Boost Converter*

Abstract

One of renewable energy sources as an alternative energy to be applied in Indonesia is solar energy. Solar energy can be converted into electrical energy using solar panel. Changes in Irradiation and solar panel surface temperature cause the output power of solar panel varies. Solar panel output power can be maximized with MPPT (*maximum power point tracking*). The aims of this research are to get information about the comparison of solar panel output power with and without MPPT when there are a changes of solar radiation and solar panel surface temperature. This research method uses engineering method with focus to control large of PWM signal (*pulse width modulation*) which supplied to DC-DC *buck-boost converter* to track maximum power point by using *artificial neural network*. The research was conducted at Distribution Laboratory of Electrical Engineering Department of Surabaya State University which was held on May - August 2017. The research result of temperature and solar irradiation effect on the output power is obtain that the output power of solar panels using MPPT *Neural Network* better than solar panels without MPPT. The average power value of every 20 minutes generated by solar panels with and without MPPT *Neural Network* for 9 hours is 27,80 W and 27,02 W.

Keywords : Solar Panel, MPPT, *Neural Network*, *Buck-Boost Converter*.

PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini khususnya energi listrik. Minyak bumi selama ini menjadi kebutuhan utama sumber energi. Oleh karena itu minyak bumi semakin langka dan mahal harganya. Sehubungan dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi tersebut, menyebabkan terjadinya perpindahan penggunaan sumber energi tak terbarukan menuju sumber energi terbarukan.

Salah satu sumber energi terbarukan sebagai energi alternatif yang paling potensial untuk diterapkan di wilayah Indonesia ialah penggunaan energi sinar matahari.

Sinar matahari merupakan sumber energi terbarukan yang efektif dan ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi. Sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya atau *photovoltaic array*.

Permasalahan yang ditimbulkan pada penggunaan PV (*Photovoltaic*) adalah daya keluaran PV yang seringkali tidak mencapai maksimum dari daya yang sebenarnya dikeluarkan oleh PV terutama pada kondisi radiasi matahari yang rendah. Selain itu, PV mempunyai karakteristik kurva V-I yang tidak linier dan mempunyai daya maksimum pada titik tertentu dengan koordinat

Vmpp dan Impp yang disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP) (Harmini dan Nurhayati, 2009:1).

Maximum Power Point Tracking (MPPT) berfungsi untuk memaksa panel surya memperoleh daya maksimum pada berbagai tingkat radiasi matahari dan suhu. Dengan menganalisa masukan sumber hasil konversi panel surya dengan memanfaatkan kemampuan kapasitas puncak dari karakteristik panel, diharapkan efisiensi daya keluaran ke beban dapat maksimum (Fuady, 2012:1).

Metode MPPT dalam penelitian Esum & Chapman dijelaskan pada saat ini setidaknya terdapat 19 metode MPPT yang berbeda antara lain, *Hill Climbing, Perturb and Observe, Fuzzy Logic Control, Neural Network*, dan lain-lain. Esum & Chapman pada penelitiannya juga menunjukkan karakteristik masing-masing metode MPPT, salah satu dari metode-metode MPPT yang telah dibahas yaitu dengan mengungkapkan MPPT *Neural Network* efisiensi dan waktu yang didapat lebih bagus dan dengan waktu yang cepat (Esum and Chapman, 2007).

Maximum Power Point Tracking (MPPT) menerima arus, tegangan, radiasi cahaya matahari, dan suhu sel surya sebagai masukan. Metode MPPT dengan *Artificial Neural Network* pernah dan telah dikaji oleh Makhlofi dalam penelitiannya yang berjudul "*A Neural Network MPP Tracker Using a Buck-Boost DC/DC Converter for Photovoltaic Systems*". Dalam penelitiannya variasi perubahan radiasi cahaya matahari menjadi fokus pembahasan dengan suhu konstan pada 25°C (Makhlofi et al, 2016:77). Namun menurut Khwee dalam penelitiannya menyatakan bahwa perubahan temperatur permukaan sel surya memungkinkan terjadinya perubahan daya yang dibangkitkan oleh sel surya (Khwee, 2013:24).

Penelitian ini akan menganalisis MPPT menggunakan *artificial neural network* untuk mengontrol besar pulsa sinyal PWM dengan radiasi dan suhu panel surya sebagai masukan. Besar pulsa sinyal PWM tersebut akan disalurkan kepada DC-DC *buck-boost converter*. Penggunaan *buck-boost converter* bertujuan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan kerja PV agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan.

KAJIAN PUSTAKA

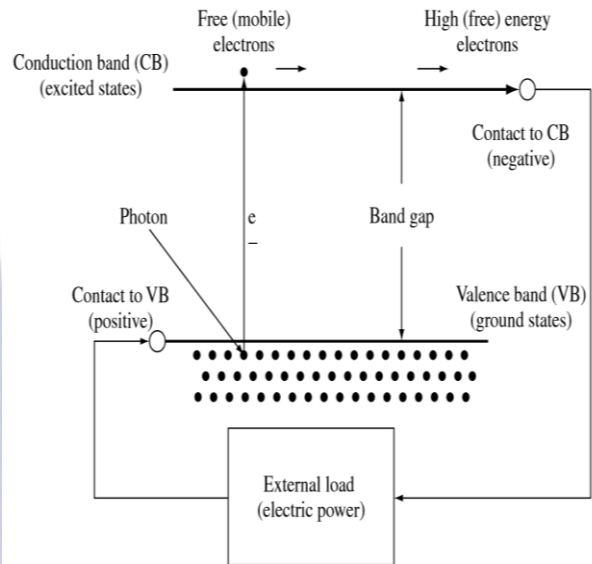
Sel Surya

Menurut Luque dan Hegedus bahwa sel surya dapat didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik dc dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik, dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya, sel surya berhenti menghasilkan energi listrik (Luque and Hegedus, 2003).

Gambar 1 menunjukkan proses yang terjadi pada sel surya ketika dipaparkan cahaya. Foton-foton yang merupakan partikel cahaya menabrak elektron. Ketika energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (VB) melewati pita pemisah (*band gap*) menuju pita konduksi (CB). Kemudian suatu *selective contact* mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi dan menggerakkan elektron-elektron tersebut. Elektron yang bergerak inilah yang disebut

sebagai arus listrik. Energi dari arus listrik digunakan untuk mengerjakan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua.

Sel surya sering dianggap sebagai suatu *pn junction* karena adanya "*doping*". *Doping* ini menyebabkan salah satu *selective contact* menjadi sisi p (banyak muatan positif) dan yang lain menjadi sisi n (banyak muatan negatif). Pemodelan dan pemahaman prinsip kerja sel surya menjadi lebih sederhana dengan menggunakan konsep *pn junction*.



Gambar 1. Skema Efek Sel Surya (Sumber: Luque and Hegedus, 2003)

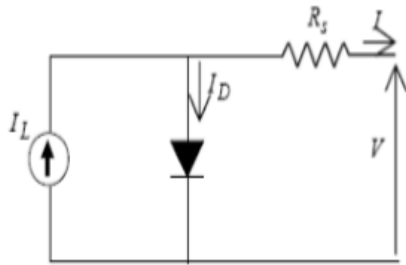
Persamaan eksponensial untuk memodelkan sel surya diturunkan dari hukum fisika untuk *pn junction* dan secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel ditunjukkan oleh persamaan 1. (Sumber: Khezzer et al, 2009:25):

$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{N_s AkT} \right) - 1 \right) \tag{1}$$

Dimana:

- I_{ph} = *photocurrent* (A),
- I_o = arus *saturation* dari dioda (A),
- q = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C),
- V = tegangan dioda (V),
- K = konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K),
- T = suhu junction dalam Kelvin (K),
- A = faktor idealitas dari dioda 1,3. untuk polycrystalline,
- R_s = tahanan seri dari dioda,
- N_s = jumlah sel hubung seri,
- exp= fungsi eksponensial (2,71828183).

Dari persamaan 1, dapat digambarkan rangkaian pengganti dari *sel photovoltaic*, yaitu seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian persamaan sel surya (Sumber: Khezzar et al, 2009:25)

Persamaan untuk mencari *series resistance* (R_s) ditunjukkan pada persamaan 2 adalah sebagai berikut (Khezzar et al, 2009:25):

$$R_s = \frac{\frac{N_s A k T}{q} \ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_m}{I_m} \quad (2)$$

Persamaan untuk mencari *photocurrent* (I_{ph}) yang ditunjukkan oleh persamaan 3 adalah sebagai berikut (Pandiarajan and Ranganath, 2011):

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i (T-298)] \frac{\lambda}{1000} \quad (3)$$

Dimana:

- I_{sc} = short circuit current at 25 °C 1000 W/m² (A),
- K_i = short circuit current temperature coefficient at I_{sc} (0.0017 A/°C),
- λ = solar irradiance (W/m²).

Persamaan untuk mencari *diode saturation current* (I_0) ditunjukkan pada persamaan 4 adalah sebagai berikut:

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q E_g}{A k} \left\{ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right\} \right] \quad (4)$$

Dimana:

- I_{rs} = reverse saturation current (A),
- T_r = reference temperature 298 K,
- E_g = silicon gap energy 1.1 eV.

Persamaan untuk mencari *reverse saturation current* (I_{rs}) ditunjukkan pada persamaan 5 adalah sebagai berikut:

$$I_{rs} = I_{sc} / \left[\exp \left(\frac{q V_{oc}}{N_s A k T} \right) - 1 \right] \quad (5)$$

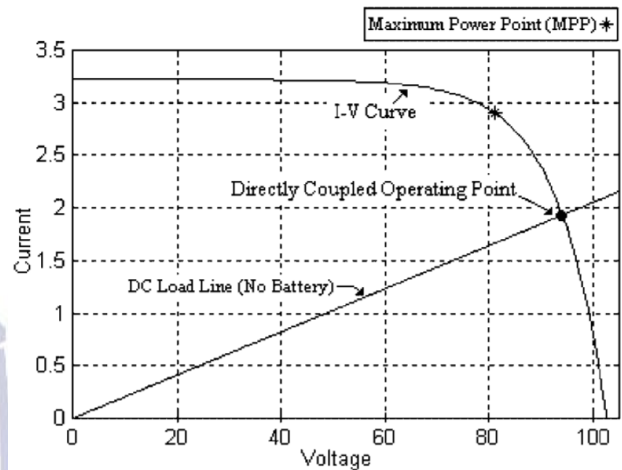
Dimana:

- I_{sc} = short circuit current at 25 °C 1000 W/m² (A),
- V_{oc} = open circuit voltage (V),

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Sebuah PV (*photovoltaic*) array dengan iradiasi tetap memiliki karakteristik arus-tegangan (I-V) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Terdapat tanda titik (*) pada

kurva, yang disebut *Maximum Power Point* / titik daya maksimum (MPP), dimana rangkaian beroperasi dengan efisiensi maksimum dan menghasilkan daya output maksimum (Hohm and Ropp, 2002:47).



Gambar 3 Kurva I-V pada sebuah PV array (Sumber: Hohm and Ropp, 2002)

Teknik untuk mendapatkan MPP disebut dengan *maximum power point tracking* (MPPT). Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal (Fuady, 2012:2).

Buck-Boost Converter

Buck boost converter merupakan salah satu DC-DC converter yang digunakan untuk mengubah level tegangan DC, baik ke tegangan yang lebih tinggi maupun tegangan yang lebih rendah. Prinsip kerja rangkaian *buck-boost converter* dibagi menjadi 2 (dua) mode siklus kerja, yaitu mode saat *switch ON* dan mode saat *switch OFF*. Pada saat *switch on* arus beban disuplai oleh kapasitor sedangkan pada saat *switch off* disuplai oleh induktor.

Perancangan *buck-boost converter* diawali dengan menentukan nilai *duty cycle* maksimal dengan persamaan 5 (Hart, 2010:225).

$$V_o = -V_s \left(\frac{D}{1-D} \right) \quad (5)$$

Dengan didapatkannya nilai *duty cycle* dan hambatan maka induktor minimal dapat dihitung menggunakan persamaan 6.

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2f} \times R \quad (6)$$

Komponen selanjutnya yang dihitung adalah C yang digunakan sebagai filter tegangan untuk mengurangi *ripple* tegangan. Besar nilai kapasitor dihitung menggunakan persamaan 7.

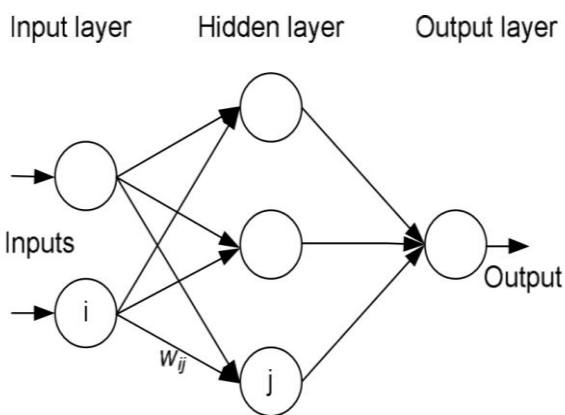
$$C = \frac{D}{\Delta V R f} \quad (7)$$

Keterangan:

- V_s : Tegangan input maksimal (V)
- V_o : Tegangan output converter (V)
- D : Duty cycle
- L_{min} : Nilai induktor minimum (H)
- f : Frekuensi switching (Hz)
- R : Nilai resistor (Ω)
- C : Nilai kapasitor (F)
- ΔV : Nilai ripple tegangan (%)

Neural Network

Neural Network (NN) sederhana memiliki tiga lapisan yang disebut lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan keluaran (*output layer*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. NN yang lebih rumit dibangun dengan menambahkan lebih banyak lapisan tersembunyi. Jumlah lapisan dan jumlah node di setiap lapisan serta fungsi yang digunakan pada setiap lapisan bervariasi dan bergantung pada pengetahuan pengguna. Variabel *input* dapat berupa parameter dari susunan PV seperti V_{oc} dan I_{sc} , data atmosfer sebagai iradiasi dan temperatur atau kombinasi keduanya. Keluarannya biasanya satu atau lebih sinyal referensi seperti *duty cycle* atau tegangan referensi (Moralez, 2010: 31).

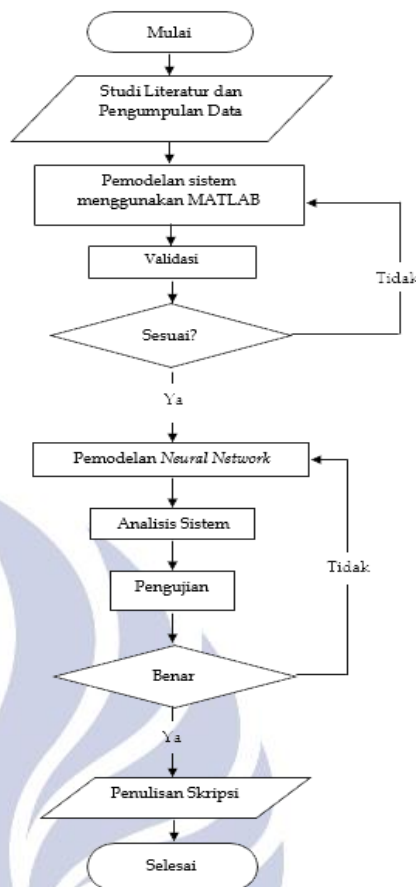


Gambar 4 Gambar blok struktur NN pada MPPT (Sumber: Moralez, 2010)

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Pendekatan penelitian ini dilakukan dengan metode rekayasa. Metode rekayasa adalah suatu kegiatan merancang (*design*) yang tidak rutin, sehingga di dalamnya terdapat kontribusi baru, baik dalam bentuk, proses maupun produk (Amran, 1997). Gambar 5 menunjukan diagram alir penelitian.



Gambar 5 Diagram alir penelitian. (Sumber: Data Primer 2017)

Parameter Panel Surya

Modul panel surya yang digunakan adalah panel surya ST-50-P6 dengan parameternya berdasarkan *data sheet* panel surya 50Wp pada Tabel 1. Parameter ini dimasukkan dalam pemodelan panel surya.

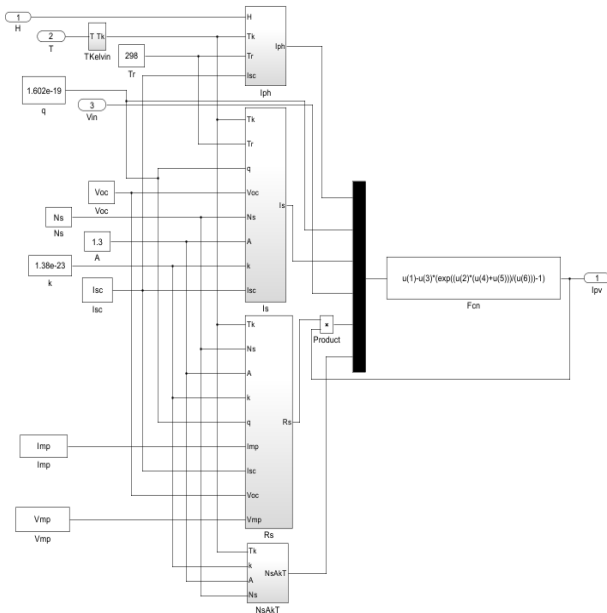
Tabel 1 *Data sheet* panel surya ST-50-P60

Parameter	Nilai
Power (P_{max})	50 W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	19.7 V
Open Circuit Current (I_{sc})	3.68 A
Voltage @ Max. Power (V_{mp})	16 A
Current @ Max. Power (I_{mp})	3.13 A
Number of Cell in Series (N_s)	36
A (<i>polycrystalline</i>)	1.3

(Sumber: Data Primer 2017)

Pemodelan Plant Panel Surya

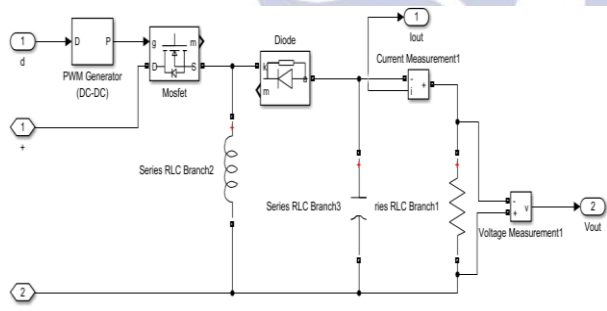
Plant panel surya didesain berdasar pada persamaan 1-4. Dari persamaan tersebut dapat dimodelkan dengan blok *Simulink* pada *MATLAB* seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Pemodelan plant panel surya
(Sumber: Diadaptasi dari Pandiarajan and Ranganath, 2011)

Pemodelan Buck-Boost Converter

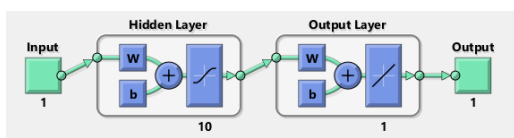
Model *converter* ini terdiri dari 1 induktor, 1 kapasitor, 1 resistor, 1 peembangkit sinyal pulsa, 1 dioda, dan 1 MOSFET. Rangkaian ini disambung dengan sisi (+) dan (-) dari panel surya sedangkan blok (d) merupakan masukan nilai *duty cycle* dari MPPT. Desain rangkaian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Pemodelan buck-boost converter
(Sumber: Hart, 2010:221)

Pemodelan MPPT Neural Network

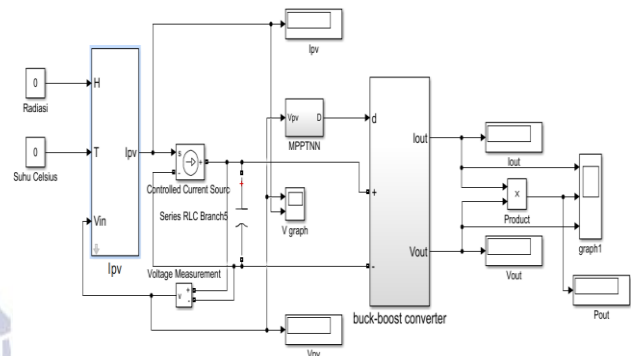
Dalam pembuatan MPPT *neural network* dibutuhkan data pelatihan untuk melatih *neural network*. Data pelatihan *neural network* ini menggunakan nilai tegangan yang dinormalisasi sebagai *input* dan nilai *duty cycle* sebagai target *output*. *Training neural network* pada simulasi ini menggunakan *backpropagation* dimana terdapat 1 *input*, 10 *hidden layer*, 1 *output layer*, dan 1 *output*. Gambar 8 merupakan *training neural network*.



Gambar 8 Pemodelan buck-boost converter

Pemodelan Keseluruhan Sistem

Dari pemodelan blok yang telah dibuat, setiap blok disusun menjadi simulasi MPPT pada rangkaian *buck-boost converter* seperti pada gambar 9.



Gambar 9 Pemodelan keseluruhan sistem
(Sumber: Diadaptasi dari Makhloufi et al, 2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Radiasi dan Suhu

Simulasi panel surya memerlukan masukan berupa radiasi matahari dan suhu panel surya. Besar nilai-nilai radiasi dan suhu yang digunakan diukur dengan alat ukur *Wattmeter* dan *Thermometer Infrared* yang diambil tanggal 25 Agustus 2017 selama satu hari pada pukul 07.00 s.d 16.00. Besar nilai-nilai radiasi dan suhu dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Data pengukuran radiasi dan suhu

WAKTU	RADIASI (W/m ²)	SUHU (°C)
07.00	247	29
07.20	376	32
07.40	383	38
08.00	408	41
08.20	456	44
08.40	575	46
09.00	640	46
09.20	680	50
09.40	740	52
10.00	830	50
10.20	892	50
10.40	896	52
11.00	921	54
11.20	932	55
11.40	956	52
12.00	965	53
12.20	957	54
12.40	925	53
13.00	909	53
13.20	860	53
13.40	830	52
14.00	720	44
14.20	630	48
14.40	596	46
15.00	538	47
15.20	450	43
15.40	372	42
16.00	293	36

Simulasi Panel Surya Tanpa MPPT dengan Beban

Hasil simulasi panel surya tanpa MPPT dengan beban dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai daya rata-rata yang

dihasilkan ketika terjadi perubahan radiasi dan suhu adalah 27,02 W dengan tegangan dan arus rata-ratanya 11,36 V dan 2,12 A. Nilai daya yang dihasilkan pada pukul 07.00 adalah 4,23 W dengan nilai tegangan dan arusnya 4,65 V dan 0,91 A. Kenaikan daya tertinggi terjadi pada pukul 11.40 dengan daya 40.21 W tegangan 14,33 V dan arus 2,805 A. Kemudian mengalami penurunan samapai 3.225 W pada pukul 16.00 dengan nilai tegangan dan arusnya 5,53 V dan 0,794 A.

Tabel 3 Hasil simulasi panel surya tanpa MPPT

WAKTU	RADIASI (W/m ²)	SUHU (°C)	BEBAN (Ω)	TEGANGAN V _{pv} (V)	ARUS I _{pv} (A)	Daya P _{pv} (W)
07.00	247	29	5,11	4,65	0,91	4,23
07.20	376	32	5,11	7,09	1,388	9,84
07.40	383	38	5,11	7,24	1,417	10,26
08.00	408	41	5,11	7,72	1,511	11,67
08.20	456	44	5,11	8,63	1,689	14,58
08.40	575	46	5,11	10,78	2,11	22,76
09.00	640	46	5,11	11,83	2,315	27,38
09.20	680	50	5,11	12,3	2,407	29,51
09.40	740	52	5,11	12,9	2,524	32,56
10.00	830	50	5,11	13,73	2,686	36,87
10.20	892	50	5,11	14,12	2,763	39
10.40	896	52	5,11	14,04	2,747	38,55
11.00	921	54	5,11	14,06	2,751	38,67
11.20	932	55	5,11	14,06	2,751	38,66
11.40	956	52	5,11	14,33	2,805	40,21
12.00	965	53	5,11	14,32	2,802	40,12
12.20	957	54	5,11	14,23	2,784	39,64
12.40	925	53	5,11	14,13	2,766	39,08
13.00	909	53	5,11	14,05	2,75	38,64
13.20	860	53	5,11	13,78	2,696	37,14
13.40	830	52	5,11	13,63	2,668	36,36
14.00	720	44	5,11	12,94	2,533	32,78
14.20	630	48	5,11	11,65	2,28	26,57
14.40	596	46	5,11	11,14	2,179	24,27
15.00	538	47	5,11	10,14	1,983	20,1
15.20	450	43	5,11	8,517	1,667	14,2
15.40	372	42	5,11	7,046	1,379	9,716
16.00	293	36	5,11	5,537	0,794	3,225
RATA-RATA	677.75	46.96		11.36	2.12	27.02

Simulasi Panel Surya dengan MPPT

1. Simulasi Buck-Boost Converter

Pengujian simulasi *buck-boost converter* ini bertujuan untuk mengetahui tegangan yang mampu dihasilkan *buck-boost converter* terhadap paerubahan *duty cycle*. Nilai komponen *buck-boost converter* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Simulasi *buck-boost*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Resistor	5,11	Ω
2.	Kapasitor	4,63	mF
3.	Induktor	13,65	μH

*) lanjutan dari tabel 4

No.	Parameter	Nilai	Satuan
4.	<i>Duty cycle</i> min.	0,483	
5.	<i>Duty cycle</i> max.	0,937	
6.	Frekuensi <i>Switching</i>	50000	Hz
7.	<i>Ripple Tegangan</i>	0,1	%

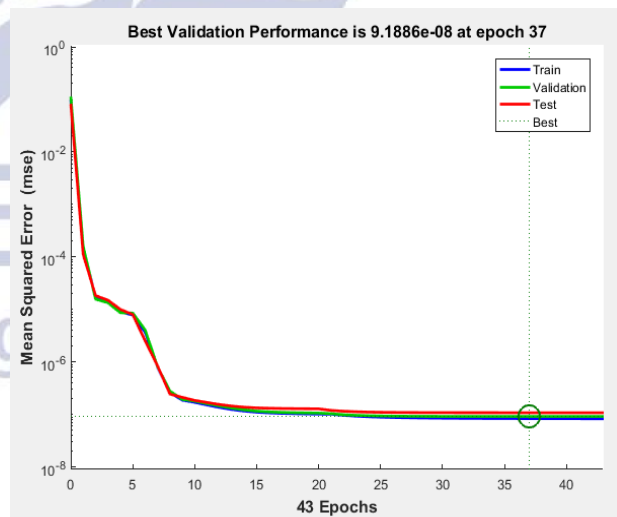
Dari data hasil pengujian *buck-boost converter* pada tabel 5 dapat diketeahui bahwa *converter* dapat berfungsi dengan baik. *Converter* dapat menaikkan tegangan ketika *duty cycle* > 50% dan menurunkan tegangan ketika *duty cycle* < 50%.

Tabel 5 Simulasi *buck-boost*

Duty Cycle (%)	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)
10	14	1,204
20	14	2,734
30	14	5,201
40	14	8,538
50	14	13,21
60	14	20,2
70	14	31,84
80	14	54,98
90	14	123,1

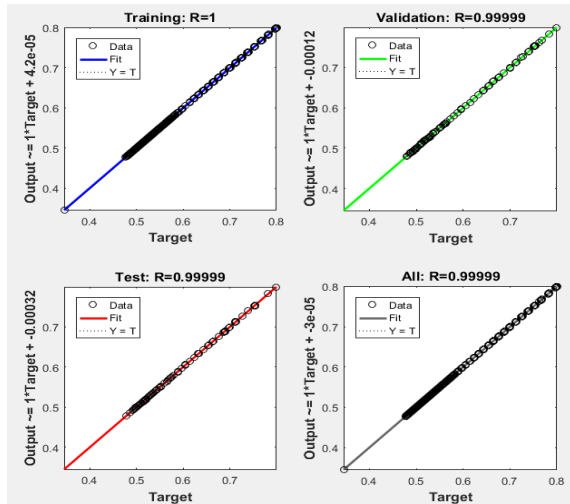
2. Neural network

Perbandingan *Mean Square Error (MSE)* dengan *epoch* dari proses pelatihan ditunjukkan pada Gambar 10. MSE digunakan sebagai acuan performa training program neural network backpropagation apakah baik (sesuai target) atau tidak (tidak mencapai target). MSE mencapai target error pada epoch 37 dengan MSE 9.1886×10^{-8} .



Gambar 10 Gambar *Neural Network Plot Performance Training*

Gambar 11 merupakan grafik proses *training regression* untuk memeriksa respon jaringan dilakukan dengan memasukkan data uji melalui jaringan dan akan melakukan regresi linier antara keluaran jaringan dan target yang sesuai. Parameter R merepresentasikan hubungan antara *output* target dan prediksi jaringan *output* dimana R dikatakan ideal ketika sama dengan 1.



Gambar 11 Gambar neural network training regression

3. Simulasi panel surya dengan MPPT

Simulasi panel surya dengan MPPT dapat dilihat pada Tabel 6. Nilai daya rata-rata yang dihasilkan ketika terjadi perubahan radiasi dan suhu adalah 27,80 W dengan tegangan dan arus rata-ratanya 11,71 V dan 2,29 A. Nilai daya yang dihasilkan pada pukul 07.00 adalah 7,96 W dengan nilai tegangan dan arusnya 6,39 V dan 1,25 A. Kenaikan daya tertingginya terjadi pada pukul 11.40 dengan daya 37,94 W tegangan 13,92 V dan arus 2,725 A. Kemudian mengalami penurunan samapai 10,25 W pada pukul 16.00 dengan nilai tegangan dan arusnya 7,23 V dan 1,416 A.

Tabel 6 Hasil simulasi panel surya dengan MPPT

WAKTU	RADIASI (W/m ²)	SUHU (°C)	BEBAN (Ω)	TEGANGAN Vpv (V)	ARUS Ipv (A)	Daya Ppv (W)
07.00	247	29	5,11	6,39	1,25	7,96
07.20	376	32	5,11	8,66	1,695	14,67
07.40	383	38	5,11	8,77	1,716	15,08
08.00	408	41	5,11	9,16	1,793	16,43
08.20	456	44	5,11	9,87	1,932	19,07
08.40	575	46	5,11	11,39	2,229	25,38
09.00	640	46	5,11	12,08	2,364	28,37
09.20	680	50	5,11	12,27	2,402	29,48
09.40	740	52	5,11	12,63	2,472	31,22
10.00	830	50	5,11	13,36	2,614	34,92
10.20	892	50	5,11	13,74	2,688	36,92
10.40	896	52	5,11	13,61	2,663	36,24
11.00	921	54	5,11	13,59	2,659	36,13
11.20	932	55	5,11	13,56	2,654	35,99
11.40	956	52	5,11	13,92	2,725	37,94
12.00	965	53	5,11	13,89	2,717	37,74
12.20	957	54	5,11	13,77	2,695	37,11
12.40	925	53	5,11	13,69	2,679	36,67
13.00	909	53	5,11	13,6	2,662	36,21
13.20	860	53	5,11	13,78	2,696	37,14
13.40	830	52	5,11	13,21	2,586	34,17
14.00	720	44	5,11	12,88	2,522	32,51
14.20	630	48	5,11	11,9	2,33	27,75

*) lanjutan dari tabel 6

WAKTU	RADIASI (W/m ²)	SUHU (°C)	BEBAN (Ω)	TEGANGAN Vpv (V)	ARUS Ipv (A)	Daya Ppv (W)
14.40	596	46	5,11	11,62	2,275	26,44
15.00	538	47	5,11	10,92	2,138	23,35
15.20	450	43	5,11	9,791	1,916	18,76
15.40	372	42	5,11	8,584	1,68	14,42
16.00	293	36	5,11	7,23	1,416	10,25
RATA-RATA	677.75	46.96		11.71	2.29	27.80

Perbandingan Simulasi Panel Surya dengan dan Tanpa MPPT

Pada hasil pengujian perbandingan daya yang dihasilkan, panel surya dengan MPPT *neural network* menghasilkan daya rata-rata yang lebih baik dari panel surya tanpa MPPT. Nilai daya rata-rata dari setiap 20 menit yang dihasilkan panel surya dengan MPPT *neural network* adalah 27,80 W sedangkan panel surya tanpa MPPT adalah 27,02 W.

Panel surya dengan MPPT memberikan hasil daya yang lebih baik pada pagi hari dan sore hari tidak dengan siang hari. Sedangkan panel surya tanpa MPPT memberikan hasil daya yang lebih baik pada siang hari tidak dengan pagi hari dan sore hari. Berikut tabel perbandingan hasil simulasi panel surya dengan dan tanpa MPPT

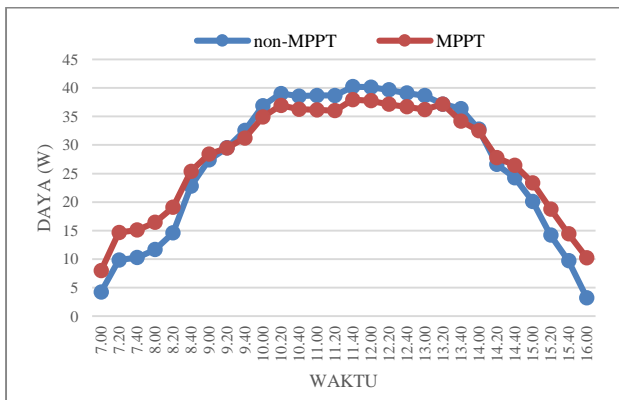
Tabel 7 Hasil simulasi panel surya dengan dan tanpa MPPT

WAKTU	RADIASI (W/m ²)	SUHU (°C)	BEBAN (Ω)	DAYA Ppv		PERSENT ASE (%)
				Non MPPT (W)	MPPT (W)	
07.00	247	29	5,11	4,23	7,96	46,86
07.20	376	32	5,11	9,84	14,67	32,92
07.40	383	38	5,11	10,26	15,08	31,96
08.00	408	41	5,11	11,67	16,43	28,97
08.20	456	44	5,11	14,58	19,07	23,54
08.40	575	46	5,11	22,76	25,38	10,32
09.00	640	46	5,11	27,38	28,37	3,49
09.20	680	50	5,11	29,51	29,48	-0,10
09.40	740	52	5,11	32,56	31,22	-4,29
10.00	830	50	5,11	36,87	34,92	-5,58
10.20	892	50	5,11	39	36,92	-5,63
10.40	896	52	5,11	38,55	36,24	-6,37
11.00	921	54	5,11	38,67	36,13	-7,03
11.20	932	55	5,11	38,66	35,99	-7,42
11.40	956	52	5,11	40,21	37,94	-5,98
12.00	965	53	5,11	40,12	37,74	-6,31
12.20	957	54	5,11	39,64	37,11	-6,82
12.40	925	53	5,11	39,08	36,67	-6,57
13.00	909	53	5,11	38,64	36,21	-6,71
13.40	830	52	5,11	36,36	34,17	-6,41
14.00	720	44	5,11	32,78	32,51	-0,83
14.20	630	48	5,11	26,57	27,75	4,25
14.40	596	46	5,11	24,27	26,44	8,21
15.00	538	47	5,11	20,1	23,35	13,92
15.20	450	43	5,11	14,2	18,76	24,31
15.40	372	42	5,11	9,716	14,42	32,62

*) lanjutan dari tabel 7

WAKTU	RADIASI (W/m ²)	SUHU (°C)	BEBAN (Ω)	DAYA Ppv		PERSENTASE (%)
				Non MPPT (W)	MPPT (W)	
16.00	293	36	5,11	3,225	10,25	68,54
Rata-rata	677,7	46,		27,02	27,80	2,79
	5	96				

Berikut gambar grafik perbandingan nilai daya yang dihasilkan panel surya dengan dan tanpa MPPT terhadap waktu digambarkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik perbandingan daya

PENUTUP

Simpulan

Pada hasil simulasi panel surya ketika terjadi perubahan radiasi dan suhu nilai daya yang dihasilkan berubah-ubah. Ketika radiasi matahari rendah dan suhu tinggi nilai daya yang dihasilkan menurun. Ketika radiasi matahari tinggi dan suhu rendah nilai daya semakin tinggi. Simulasi panel surya tanpa MPPT didapatkan hasil nilai daya rata-rata yang dihasilkan 27,02 W. Nilai daya yang dihasilkan pada pukul 07.00 adalah 4,23 W dan mengalami kenaikan yang puncak daya tertingginya pada pukul 11.40 dengan daya 40,21 W kemudian mengalami penurunan samapai 3,225 W pada pukul 16.00.

Simulasi panel surya dengan MPPT *neural network* ketika terjadi perubahan radiasi dan suhu menghasilkan nilai daya rata-rata sebesar 27,80 W. Nilai daya yang dihasilkan pada pukul 07.00 adalah 7,96 W dan mengalami kenaikan dengan daya tertingginya pada pukul 11.40 adalah 37,94 W kemudian mengalami penurunan samapai 10,25 W pada pukul 16.00.

Pada hasil pengujian perbandingan daya yang dihasilkan, panel surya dengan MPPT *neural network* menghasilkan daya rata-rata yang lebih baik dari panel surya tanpa MPPT. Nilai daya rata-rata dari setiap 20 menit yang dihasilkan panel surya dengan MPPT *neural network* adalah 27,80 W sedangkan panel surya tanpa MPPT adalah 27,02 W.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan saran yang dapat diberikan untuk penelitian mendatang adalah melakukan pengukuran daya panel surya yang disambung beban secara langsung sehingga didapatkan hasil daya yang *real*.

Menggunakan *converter* dengan satu jenis kerja, sehingga dapat mengurangi rugi daya pada *converter*.

Melakukan perbandingan dengan metode kontroler kecerdasan buatan yang lainnya untuk menilai keandalan kecerdasan buatan yang dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Ali. 1997. Panduan Kegiatan Penelitian Padang, Padang: Lembaga Penelitian IKIP Padang.
- Esrarn, T. and Chapman, P.L., *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, June 2007.
- Fuady, Atar. 2012. *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy*. Jurnal POMITS. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Harmini dan Titik Nurhayati. 2009. *Implementasi MPPT (Maximum Power Point Tracker) Pada Sistem Photovoltaic*. Jurnal USM. Semarang: Universitas Semarang.
- Hart, Danil W. (2010). *Power Electronic*. Valparaiso University, Indiana: Mc Grow-Hill Companies, Inc.
- Hohm, D. P.; Ropp, M. E. "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, John Wiley & Sons, vol. 11, pp. 47–62, June 2002
- Khezzar, A., M. Zereg and R. Khezzar. 2009. *Comparative Study of Mathematical Methods for Parameters Calculation of Current Voltage Characteristic of Photovoltaic Module*. Algeria: Universite Hadj Lakhdar and Universite Mentouri. pp. 24-28
- Khwee, Kho Hie. *Pengaruh Temperatur Terhadap Kapasitas Daya Panel Surya (Studi Kasus: Pontianak)*. Jurnal ELKHA Vol.5, No 2, pp. 23-26, Oktober 2013
- Luque, A., and Hegedus, S. (2003). *Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics*. In Handbook of Photovoltaic Science and Engineering (pp. 1-41). John Wiley & Sons, LTD.
- Makhloufi, M.T., M.S. Khireddine, and Y. Abdessemed, *A neural network MPP tracker using a Buck-Boost DC/DC converter for photovoltaic systems*, 5th International Conference on IEEE Systems and Control (ICSC), pp. 72-77, 2016
- Moralez, David Sanz. (2010) *Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications*. Thesis. Faculty of Electronics, Communications and Automation, Aalto University.
- Pandiarajan, N., and Ranganath Muthu. 2011. *Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink*. India: Departement of Electrical Engineering SSn College of Engineering Kalavakkam.