

# MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) DENGAN KONVERTER DC-DC TIPE CUK MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY PADA FOTOVOLTAIK

Singgih Kurniawan<sup>\*)</sup>, Yuningtyastuti<sup>\*)</sup>, and Susatyo Handoko<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: *Singgih\_fair@yahoo.com, juningastika@yahoo.com, soesatjo@yahoo.com*

## Abstrak

Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sepanjang hari, hal ini sangat menguntungkan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan fotovoltaik. Permasalahan utama pada penggunaan fotovoltaik adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah pada kondisi radiasi yang rendah dan besarnya daya listrik yang dibangkitkan berubah secara berkala seiring dengan perubahan cuaca dan suhu. <sup>[2]</sup> Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah peralatan yang digunakan untuk meningkatkan rasio daya modul fotovoltaik. Maximum Power point tracking (MPPT) digunakan untuk mencari point (titik) maksimum dengan cara menaikkan dan menurunkan tegangan menggunakan konverter cuk. Pada Penelitian ini digunakan algoritma Fuzzy untuk mengatur nilai duty cycle dari perangkat Maximum Power Point Tracking (MPPT), Sehingga dapat meningkatkan rasio daya keluaran modul fotovoltaik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rasio daya tertinggi modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi nilai radiasi matahari adalah 78,63 % saat radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>. Pada kondisi radiasi 1000 W/m<sup>2</sup> terjadi peningkatan rasio daya sebesar 33,89%. Rasio daya tertinggi modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi suhu adalah 80,09 % saat suhu 46°C. Pada kondisi suhu 46°C terjadi peningkatan rasio daya sebesar 36,02%. Dan rasio daya tertinggi modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi radiasi dan suhu adalah 78,73 % saat radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C. Pada kondisi radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C peningkatan rasio daya sebesar 34,04%. Dengan pemasangan perangkat MPPT menggunakan algoritma Fuzzy pada modul fotovoltaik dapat meningkatkan rasio daya dengan kenaikan rata-rata 31,03% dibandingkan sebelum pemasangan MPPT.

*Kata Kunci : Fotovoltaik, MPPT, Duty cycle, Logika Fuzzy*

## Abstract

The Potential of Power sun in Indonesian can be used throughout the day, It's very advantageous to generating electrical power by photovoltaic. The main problem of the using photovoltaic is the low generate electrical power at low radiation condition and the amount electrical power is generated to change periodical along with weather and temperature. Maximum Power Point Tracking (MPPT) is one of device used to increase photovoltaic power ratio. Maximum Power point tracking (MPPT) used for searching maximum point by raising and lowering voltage using cuk converter. In this research fuzzy algorithm is used to adjust duty cycle value of Maximum Power Point Tracking (MPPT) device, so that it can increase photovoltaic power output ratio. The result showed that the suprame power ratio of photovoltaic modul after installation MPPT device with variation of sun radiation is 78,63% at the condition sun radiation 1000 W/m<sup>2</sup>. in 1000 W/m<sup>2</sup> solar radiation conditions increasing the power ratio of 33,89%. The suprame power ratio of photovoltaic modul after installation MPPT device with variation of temperature is 80,09 % at temperature 46°C. At 46°C temperature conditions, increasing the power ratio of 36,02%.. The suprame power ratio of photovoltaic modul after installation MPPT device with variation of sun radiation and temperature is 78,73 % at radiation 1200 W/m<sup>2</sup> and temperature 38°C. In 1200 W/m<sup>2</sup> radiation and 38°C temperature conditions increasing the power ratio of 34,86%. Therefore the installation MPPT device using fuzzy algorithm at photovoltaic module can increase power ratio with an average increasing 31,86 % compared to without MPPT device.

*Kata Kunci : Fotovoltaik, MPPT, Duty cycle, Logika Fuzzy*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sepanjang hari, potensi ini sangat menguntungkan untuk

membangkitkan energi listrik dengan menggunakan fotovoltaik.

Komponen utama sistem fotovoltaik adalah modul. Modul fotovoltaik telah banyak digunakan di Indonesia. Permasalahan utama pada penggunaan fotovoltaik adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah, terutama pada kondisi radiasi yang rendah. Dan jumlah daya listrik yang dibangkitkan berubah secara berkala seiring dengan perubahan cuaca.<sup>[12]</sup> Daya yang dapat dibangkitkan berdasarkan intensitas energi surya ketika mencapai permukaan bumi berjumlah sekitar 100 watt per m<sup>2</sup>, pada efisiensi fotovoltaik 10%.<sup>[11]</sup>

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah peralatan yang digunakan untuk meningkatkan rasio daya fotovoltaik. *Maximum Power point tracking* (MPPT) mencari *point* (titik) maksimum dari kurva karakteristik daya dan tegangan *input* (P-V) serta kurva arus *input* dan tegangan *input* (V-I) pada modul surya. Dengan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) diharapkan daya *output* akan selalu pada kondisi maksimal.

Terdapat beberapa algoritma MPPT yang telah ditemukan dan ditulis pada jurnal ilmiah internasional seperti *Observe* dan *Incremental Conductance*, *Dynamic Approach*, *Temperature Methods*, *Metode pengukuran arus hubung singkat*, *Artificial Neural Network method*, *Fuzzy Logic method* dan lain-lain.<sup>[22]</sup> Semua algoritma tersebut berbeda-beda dalam beberapa aspek termasuk kesederhanaan, kecepatan, implementasi *hardware*, sensor yang dibutuhkan, biaya, efektifitas, dan parameter yang dibutuhkan.

Pada kurva karakteristik V-I pada fotovoltaik memiliki persamaan yang tak linier dan hanya memiliki satu persamaan titik operasi fotovoltaik untuk mendapatkan kondisi maksimum pada kondisi tertentu.<sup>[9]</sup> Saat terjadi penurunan arus hingga mendekati nol penggunaan *boost* konverter tidak dapat menurunkan nilai tegangan keluaran sehingga nilai arus akan terus turun dan nilai tegangan akan terus naik sehingga menghasilkan daya keluaran yang kecil.

Untuk mengatasi masalah ini, maka dikembangkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan konverter cuk pada modul fotovoltaik menggunakan logika fuzzy. Pengembangan teknologi MPPT dengan konverter cuk menggunakan logika fuzzy agar dapat menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran modul fotovoltaik dengan pengaturan *duty cycle* menggunakan logika fuzzy. Sehingga dapat meningkatkan rasio daya keluaran modul fotovoltaik. Untuk memudahkan analisa maka simulasi dibuat dengan menggunakan *software* Matlab.

## 2. Metode

### 2.1 Perancangan Simulasi Sistem

Diagram alir tahap perancangan dan pembuatan program simulasi pemodelan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan konverter dc-dc tipe cuk menggunakan metode logika fuzzy pada aplikasi modul fotovoltaik seperti pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 Blok Diagram Alir Tahap Pembuatan Simulasi Sistem

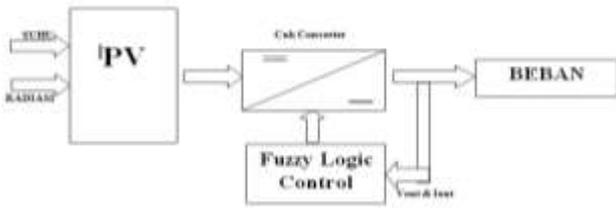
Simulasi menggunakan program Matlab 7.8 (R2009a) dengan menggunakan data modul fotovoltaik dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1 Data Spesifikasi Modul Fotovoltaik

Performa Elektrik dibawah Standard Test Conditions (*STC)	
Daya Maksimum (P <sub>max</sub> )	135 (±5%)
Tegangan Daya Maksimum (V <sub>mpp</sub> )	17.7 V
Arus Daya Maksimum (I <sub>mpp</sub> )	7.63 A
Tegangan Hubung Buka (V <sub>oc</sub> )	22.1 V
Arus Hubung Singkat (I <sub>sc</sub> )	8.37 A
Tegangan Sistem Maksimum	600 V
Koefisien Temperature (V <sub>oc</sub> )	-8.0x10 <sup>-2</sup> V/°C
Koefisien Temperature (I <sub>sc</sub> )	5.02x10 <sup>-3</sup> A/°C
Jumlah Sel Per modul	36

\*STC : Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, AM1.5 spectrum, Cell Temperature 25°C

Blok diagram perancangan simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2 Blok Diagram Sistem Modul Fotovoltaik dengan MPPT

2.2 Pemodelan Modul Fotovoltaik

2.2.1 Perancangan Konverter Dc-dc Tipe Cuk

Perancangan konverter dc-dc tipe cuk pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2 Data Spesifikasi Konverter Dc-Dc Tipe Cuk

Tegangan Masukkan ( $V_{in}$ )*	22,1 V
Frekuensi Pemicuan (F)	5000 Hz
Maximum Voltage Ripple	0,02 %
Duty Cycle	0,4-0,6
Hambatan Beban (R)	6
Arus Keluaran ( $I_{out}$ )*	1,63 A
Tegangan Keluaran ( $V_{out}$ )*	17,7 V
Daya Maksimum* (P)*	135 W

\* Sesuai dengan spesifikasi data pada tabel 1 pada kondisi STC

a. Pemilihan kapasitor  $C_1$

Berdasarkan persamaan 2.1 maka nilai minimum dari kapasitor  $C_1$  adalah sebagai berikut:

$$C_{1min} > \frac{D^2 T_s}{2R} \tag{2.1}$$

$$C_{min} > \frac{0,6^2 \cdot 2 \times 10^{-4}}{2 \times 6}$$

$$C_{min} > 6 \times 10^{-6} F$$

Dengan periode *switching* ( $T_s$ ) adalah 200 $\mu$ s, D saat maksimum yaitu 0,6 dan R sama dengan 6 ohm, maka didapatkan  $C_1 > 6\mu F$ , sehingga dipilih  $C_1 = 30\mu F$ .

b. Pemilihan induktor  $L_1$  dan  $L_2$

Agar konverter cuk bekerja di modus CCM, maka nilai induktansi  $L_{1min}$  dan  $L_{2min}$  rangkaian konverter cuk harus memenuhi persamaan 2.2 dan 2.16 yang nilainya adalah sebagai berikut:

$$L_{1min} = \frac{(1-D)^2 R}{2Df} \tag{2.2}$$

$$L_{1min} = \frac{(1-0,4)^2 \cdot 6}{2 \cdot 0,4 \cdot 5000} = 540 \mu H$$

Sedangkan nilai  $L_{2min}$  adalah sebagai berikut :

$$L_{2min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{2.3}$$

$$L_{2min} = \frac{(1-0,4) \cdot 6}{2 \cdot 5000} = 360 \mu H$$

Dimana D adalah nilai minimum *duty cycle*. Karena konverter dioperasikan *Continuous Conduction Mode* (CCM) maka

$$L_1 > L_{1min} \text{ dan } L_2 > L_{2min}$$

maka

$$L_1 = L_2 = 2000\mu H$$

c. Pemilihan kapasitor  $C_2$

Nilai  $C_2$  dapat ditentukan berdasarkan pendekatan nilai tegangan *ripple* konverter sesuai dengan persamaan 2.14 yang nilainya adalah

$$\Delta V_{c0} = \frac{D V_s}{8C_2 L_2 f^2} \tag{2.4}$$

$$0,02 = \frac{1 \times 22,1}{8 \times C_2 \times 2000 \times 10^{-6} \times 5000^2}$$

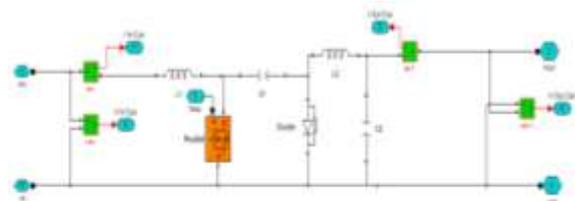
$$C_2 = 2762,5 \mu F$$

Dari perhitungan nilai  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $C_1$  dan  $C_2$ , berdasarkan persamaan 2.10 hingga 2.13 maka didapatkan nilai  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $C_1$  dan  $C_2$  yang digunakan seperti dalam Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Data Spesifikasi Nilai  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $C_1$  dan  $C_2$

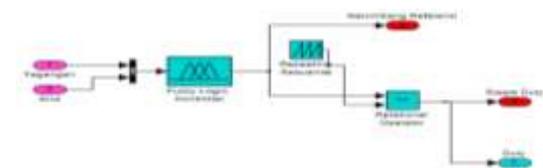
Induktor $L_1$	2000 $\mu H$
Induktor $L_2$	2000 $\mu H$
Capasitor $C_1$	30 $\mu F$
Capasitor $C_2$	2762,5 $\mu F$

Tampilan dari rangkaian pemodelan konverter cuk seperti Gambar 3 sebagai berikut :



Gambar 3 Pemodelan Konverter Dc-Dc Tipe Cuk

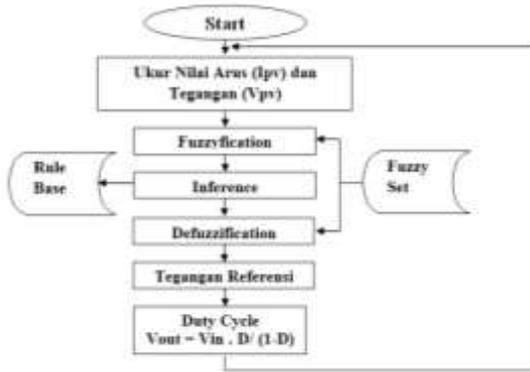
Pemodelan blok rangkaian kontrol konverter cuk dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4 Pemodelan Rangkaian Kontrol Konverter Dc-Dc Cuk

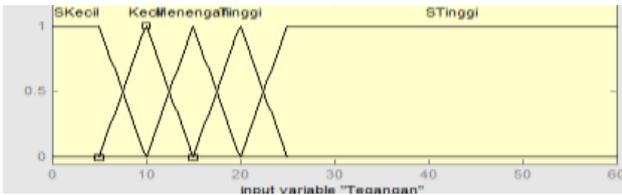
### 2.2.2 Logika Fuzzy untuk Penentuan Tegangan Referensi Duty Cycle

Diagram alir dari logika fuzzy untuk penentuan tegangan referensi *duty cycle* dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut

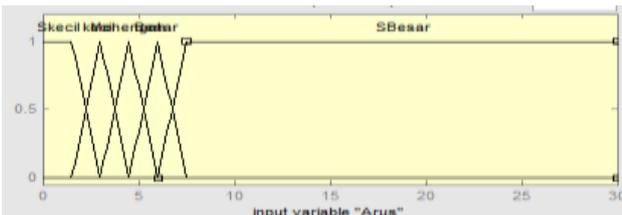


Gambar 5 Flow Chart Logika Fuzzy Rangkaian Kontrol

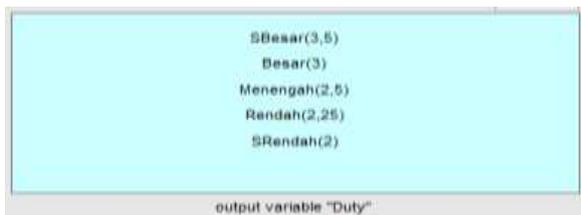
Fungsi Keanggotaan dari tegangan, arus, dan tegangan referensi *duty cycle* dapat dilihat pada gambar 6,7 dan 8 sebagai berikut :



Gambar 6 Fungsi Keanggotaan Tegangan



Gambar 7 Fungsi Keanggotaan Arus



Gambar 8 Fungsi Keanggotaan Tegangan Referensi Duty Cycle

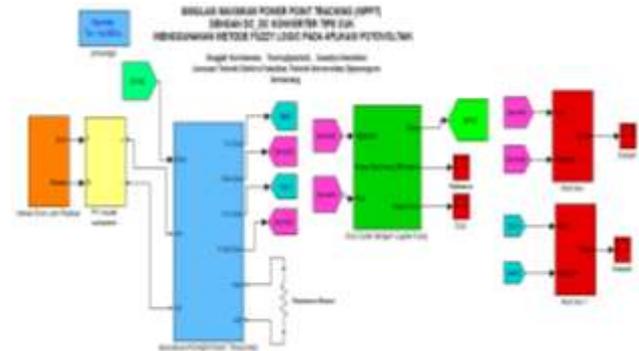
Aturan untuk penentuan tegangan referensi *duty cycle* dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4 Aturan untuk Penentuan Tegangan Referensi Duty Cycle

AND		Tegangan				
		SK	K	M	T	ST
Arus	SK	SR	SR	M	B	SB
	K	R	SR	R	B	SB
	M	SR	R	R	B	B
	B	R	R	M	B	B
	SB	SR	SR	M	M	B

### 2.2.3 Pemodelan Sistem Modul Fotovoltaik

Pemodelan modul fotovoltaik dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dapat dilihat pada Gambar 9 sebagai berikut :

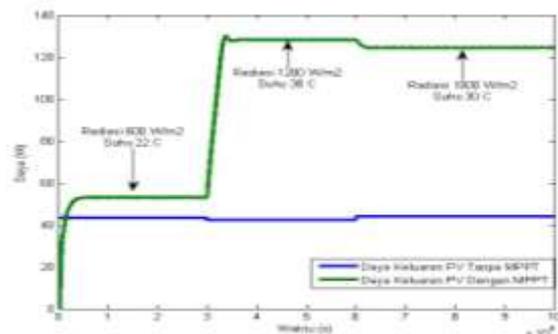


Gambar 9 Pemodelan Sistem Modul Fotovoltaik dengan MPPT

## 3. Pengujian dan Analisis

### 3.1 Hasil Pengujian Pemodelan Modul Fotovoltaik dengan Variasi Radiasi, dan Suhu

Hasil pengujian pemodelan modul fotovoltaik dengan variasi radiasi, dan suhu dapat dilihat pada grafik daya keluaran pada Gambar 10 berikut :



Gambar 10 Grafik Daya Keluaran Modul Fotovoltaik pada Resistansi Beban 10 Ω dengan Variasi Suhu dan Radiasi

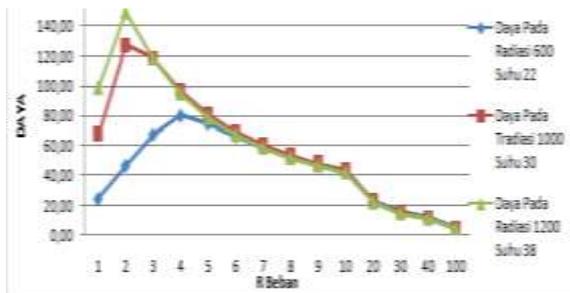
Pada Gambar 10, Pemodelan menggunakan nilai resistansi beban 10 Ω, dan didapatkan nilai daya keluaran modul fotovoltaik pada kondisi radiasi 600 W/m<sup>2</sup> dan Suhu 22°C sebesar 43,32 Watt. Saat kondisi radiasi naik menjadi 1200 W/m<sup>2</sup> dan Suhu 38°C nilai daya sebesar 42,18 Watt. Saat kondisi radiasi turun menjadi 1000 W/m<sup>2</sup> dan Suhu 30°C, nilai daya sebesar 43,80 Watt.

Daya keluaran modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT pada kondisi radiasi 600 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C menghasilkan daya sebesar 53,18 Watt dengan *duty cycle* sebesar 0,662. Saat kondisi radiasi naik menjadi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C, nilai daya yang dihasilkan sebesar 128,69 Watt dengan *duty cycle* sebesar 0,68. Saat kondisi radiasi turun menjadi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 30°C, nilai daya yang dihasilkan 124,94 Watt dengan *duty cycle* sebesar 0,664.

Selisih kenaikan daya sebelum dan setelah pemasangan MPPT pada resistansi yang sama adalah 17,49 Watt saat kondisi radiasi 600 W/m<sup>2</sup> dan suhu 22°C, 49,94 Watt saat kondisi radiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan suhu 30°C, dan 42,79 Watt saat kondisi radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C.

### 3.2 Pengaruh Perubahan Resistansi Beban Terhadap Tegangan, Arus dan Daya Keluaran Modul Fotovoltaik Sebelum dan Setelah Pemasangan MPPT

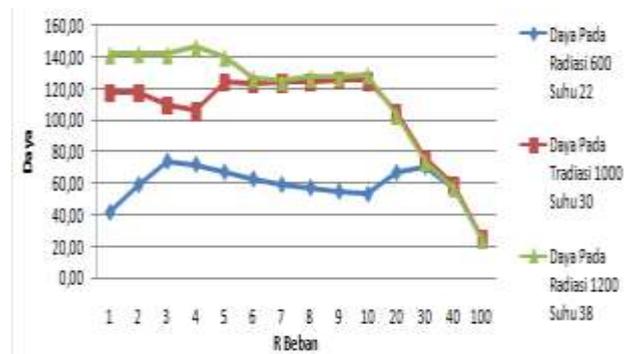
Data hasil pemodelan modul fotovoltaik terhadap perubahan nilai resistansi beban (R Beban) radiasi, dan suhu dapat kita lihat seperti yang tertera pada Gambar 11 sebagai berikut.



**Gambar 11 Grafik Daya Keluaran Modul Fotovoltaik Sebelum Pemasangan MPPT dengan Variasi Radiasi, Suhu dan Resistansi Beban**

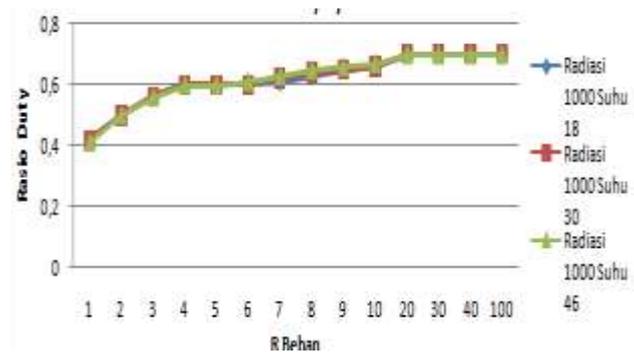
Berdasarkan Gambar 11, daya tertinggi yang dapat dicapai dari pemodelan modul fotovoltaik sebelum pemasangan MPPT dengan variasi radiasi, suhu dan resistansi beban adalah 149,68 Watt pada resistansi beban bernilai 2 Ω saat radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C. Sedangkan nilai daya terendah adalah 4,47 Watt pada resistansi beban bernilai 100 Ω saat radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C. Data-data pemodelan modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi suhu radiasi

dan resistansi beban dapat dilihat pada Gambar 12 sebagai berikut :



**Gambar 12 Grafik Daya Keluaran Modul Fotovoltaik Setelah Pemasangan MPPT dengan Variasi Suhu, Radiasi dan Resistansi Beban**

Berdasarkan Gambar 12 pada setiap nilai resistansi beban grafik nilai *duty cycle* dapat dilihat pada Gambar 13 berikut

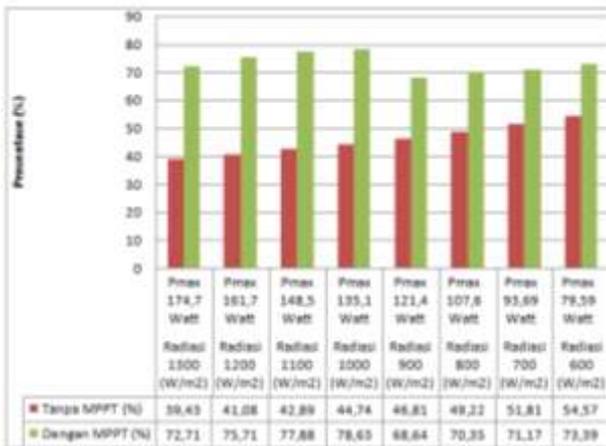


**Gambar 13 Grafik Duty Cycle Modul Fotovoltaik Setelah Pemasangan MPPT dengan Variasi Radiasi, Suhu dan Resistansi Beban**

Dari Gambar 13, Daya tertinggi yang dapat dicapai dari pemodelan pemodelan modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT adalah 146,49 Watt pada resistansi beban bernilai 5 Ω saat radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C dengan *duty cycle* sebesar 0,6. Sedangkan nilai daya terendah adalah 24,21 Watt pada resistansi beban bernilai 100 Ω saat radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C dengan *duty cycle* sebesar 0,70. Dari Gambar 16, *duty cycle* yang dihasilkan dari rangkaian kontrol memiliki nilai yang saling mendekati untuk setiap perubahan kondisi radiasi.

### 3.3 Analisa Rasio Daya Modul Fotovoltaik dengan Variasi Radiasi dan Suhu

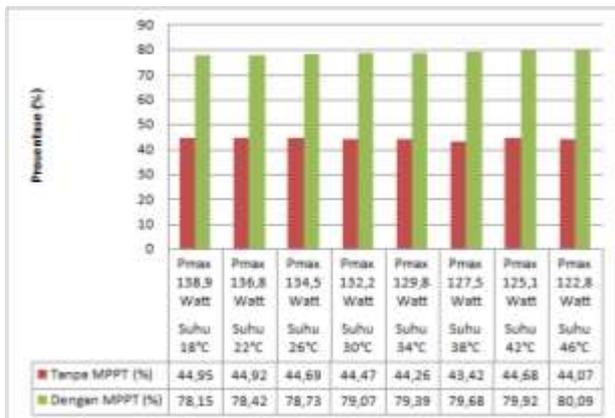
Rasio daya modul fotovoltaik sebelum pemasangan MPPT dan modul fotovoltaik setelah MPPT pada kondisi perubahan radiasi dapat kita lihat pada Gambar 14 sebagai berikut



Gambar 14 Grafik Rasio Daya Modul Fotovoltaik dengan Kondisi Perubahan Radiasi Matahari

Dari Gambar 14 terlihat bahwa setelah pemasangan perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) nilai rasio daya dari modul fotovoltaik terjadi peningkatan berkisar antara 18% hingga 35%. Rasio daya tertinggi terjadi pada saat radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup> sebesar 78,63% dengan selisih rasio daya sebesar 33,89% dibanding daya keluaran modul fotovoltaik tanpa MPPT. Rasio daya yang dihasilkan dengan penambahan perangkat MPPT pada setiap perubahan radiasi matahari dari interval 1300-600 W/m<sup>2</sup> sebesar 73,56% dengan kenaikan rasio daya sebesar 27,44% dibandingkan dengan daya keluaran modul fotovoltaik sebelum pemasangan perangkat MPPT.

Rasio daya pada setiap kondisi perubahan suhu dari interval 18°C hingga 46°C. Rasio daya modul fotovoltaik sebelum pemasangan MPPT dan modul fotovoltaik setelah MPPT pada kondisi perubahan suhu dapat kita lihat pada Gambar 15 sebagai berikut:

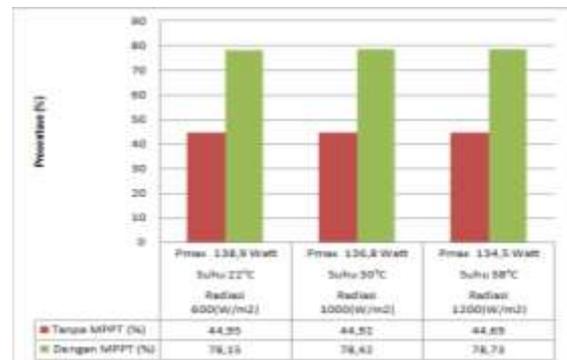


Gambar 15 Grafik Rasio Daya Modul Fotovoltaik dengan Kondisi Perubahan Suhu

Dari Gambar 15 terlihat bahwa setelah pemasangan perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) nilai

rasio daya dari modul fotovoltaik meningkat berkisar antara 30% hingga 36%. Rasio daya tertinggi terjadi pada saat suhu 46°C sebesar 80,09% dengan selisih rasio daya sebesar 36,02% dibandingkan daya keluaran modul fotovoltaik tanpa MPPT pada suhu yang sama. Rasio daya yang dihasilkan dengan penambahan perangkat MPPT pada setiap perubahan suhu dari interval 18°C-46°C sebesar 79,18% dengan kenaikan rasio daya sebesar 32,09% dibandingkan dengan daya keluaran modul fotovoltaik sebelum pemasangan perangkat MPPT.

Apabila radiasi dan suhu berubah secara bersamaan maka nilai dari pengujian pemodelan modul fotovoltaik sebelum pemasangan MPPT dan modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT ini dapat kita lihat pada Gambar 16 sebagai berikut :



Gambar 16 Grafik Rasio Daya Modul Fotovoltaik dengan Kondisi Perubahan Radiasi dan Suhu

Dari Gambar 16 terlihat bahwa dengan penambahan perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) nilai rasio daya dari modul fotovoltaik terjadi peningkatan berkisar antara 33% hingga 35%. Rasio daya tertinggi terjadi pada saat 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C sebesar 78,73% dengan selisih rasio daya sebesar 34,04% dibandingkan daya keluaran modul fotovoltaik tanpa MPPT. Rasio Daya yang dihasilkan dengan penambahan perangkat MPPT pada setiap perubahan radiasi matahari dan suhu sebesar 78,433% dengan kenaikan rasio daya sebesar 33,58% dibandingkan dengan daya keluaran modul fotovoltaik sebelum pemasangan perangkat MPPT. Perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) mampu meningkatkan dan mempertahankan daya keluaran modul fotovoltaik mendekati titik maksimum dengan cara mengatur *duty cycle* menggunakan logika fuzzy.

#### 4. Kesimpulan

Perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan konverter dc-dc tipe cuk menggunakan logika fuzzy dapat digunakan untuk mencari titik operasi maksimum modul fotovoltaik sehingga dapat

meningkatkan rasio daya keluaran modul fotovoltaik pada variasi suhu dan radiasi.

- a. Rasio daya tertinggi modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi nilai radiasi matahari adalah 78,63 % saat radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup> dengan peningkatan sebesar 33,89% dibandingkan modul fotovoltaik tanpa MPPT.
- b. Rasio daya tertinggi modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi suhu adalah 80,09 % saat suhu 46°C dengan peningkatan sebesar 36,02% dibandingkan modul fotovoltaik tanpa MPPT pada suhu yang sama.
- c. Rasio daya tertinggi modul fotovoltaik setelah pemasangan MPPT dengan variasi radiasi dan suhu adalah 78,73 % saat radiasi 1200 W/m<sup>2</sup> dan suhu 38°C dengan peningkatan sebesar 34,04% dibandingkan modul fotovoltaik tanpa MPPT pada radiasi dan suhu yang sama.
- d. Dengan demikian pemasangan perangkat MPPT pada modul fotovoltaik dapat meningkatkan rasio daya dengan kenaikan rata-rata 31,03% dibandingkan sebelum pemasangan MPPT.

## Referensi

- [1]. Amin, Rahardjo, dkk, *Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya Pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi Sebagai Bangunan Hemat Energi*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Universitas Lampung, 2008.
- [2]. Aprian, Farhan, *Perancangan Stand Alone PV System Dengan Maksimum Power Point Tracker (MPPT) Menggunakan Metode Modified Hill Climbing*, Proceeding Seminar Penelitian, Institute Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Juni 2010.
- [3]. Chung-Yuen Won, Duk-Hoen Kim, Sei-Chan Kim, Won-Sam Kim and Hack-sung Kim *A New Maximum Power Point Tracker Of Photovoltaic Arrays using Fuzzy Controller*, Sung Kyun Kwan University, November 17, 2008.
- [4]. Darmawan, Dianggoro, *Perancangan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Panel Surya Menggunakan Konverter Cuk Dengan Metode Hill Climbing*, Jurusan Teknik Elektro Institut Sepuluh November Surabaya.
- [5]. Dunlop, James P., *Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic System Fundamentals and Application*, Florida Solar Energy Center, 1997.
- [6]. Eric Anderson, Chris Dohan, Aaron Sikora, *Solar Panel Peak Power Tracking System*, Worcester Polytechnic Institute, 2003.
- [7]. Ina, Duka, *High Frequency DC/DC Boost Converter*, Worcester Polytechnic Institute, April 2011.
- [8]. Jacob Milman and christos C Halkias, *Integrated Electronics (Terjemahan)*, Erlangga, Jakarta, 1997.
- [9]. Jang, J.-S.R., C.-T.Sun and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and soft computing*, Computer Science Department, Tsing Hua University, Taiwan.
- [10]. Kurniawan Unggul Dzackiy, *Penelitian : Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Logika Fuzzy dan Algoritma Genetika Pada Sistem*, Universitas Diponegoro, 2012.
- [11]. Kusumadewi, Sri, *Analisa Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*, Jogjakarta: Graha Ilmu, 2002.
- [12]. Marcelo Gradella Villava, Jonas Rafael Gazoli and Ernesto Ruppert Filho, *Modeling and Circuit Based Simulation Of Photovoltaic Array*, Brazilian Journal of Power Electronic vol-14 no 1, Brazil, 2009.
- [13]. Marcelo Gradella Villava, Jonas Rafael Gazoli and Ernesto Ruppert Filho, *Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays*, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 24,, No 5, May 2009.
- [14]. Moertini Veronica S, *Energi Baru dan Terbarukan (EBT) : Kajian Potensi Dan Teknologi Konversinya*, SIGMA, Vol 5, No 1, Januari 2002.
- [15]. Moubayed Nazih, El-Ali Ali, dan Outbib Rachid, *A Comparison of Two MPPT Techniques For PV System*, WSEAS Transactions on Environment and Development, Issue 12, Volume 5, December 2009.
- [16]. M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F, *Modeling and Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays*. University Of Campus-UNICAMP, Brazil, 2009.
- [17]. Rashid, M , *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2<sup>nd</sup>*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [18]. Salam, Dr Zainal, *Power Electronics and Drives (version 2)*, Pdfheart.com,
- [19]. Simonetti, D.S.L, J. Sebastian, F.S Dos Reis dan J.Uceda, *Design Criteria For Sepic and Cuk Converters as Power Factor Preregulators in Discontinuous Conduction Mode*, Universidad Politecnica de Madrid, April 12, 2009.
- [20]. Sivanandam, S. N. Dkk. 2007. *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*. India: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [21]. Suhono, *Inventarisasi Permasalahan Pada Instalasi Solar Home System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*, Universitas Gajah Mada, 2009.
- [22]. Surojo, Ashari Mochammad, dan Purnomo Mauridhi Heri, *Desain dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter*, 7th Basic Science National Seminar Proceeding, Malang, 2010.
- [23]. User's Guide Version 2, *Fuzzy Logic Toolbox For Use With Matlab*, January 10, 1995
- [24]. Zeida Zeidane Bouna Ould, *Contribution to the study of the grid connected photovoltaic system*, Universite De Batna, 2006.
- [25]. User's Guide Version 2, *Fuzzy Logic Toolbox For Use With Matlab*, January 10, 1995