

MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA SISTEM FOTOVOLTAIK DENGAN BOOST CONVERTER BERBASIS LOGIKA FUZZY

Maximum Power Point Tracking (MPPT) in Photovoltaic System with Boost Converter Fuzzy Logic-Based

I Gede Ferryawan¹, Abdul Natsir², I Made Ari Nratha³

ABSTRAK

Pemanfaatan energi surya mulai banyak dikembangkan pada PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), namun daya listrik pada modul fotovoltaik yang dihasilkan tidak pada kondisi daya keluaran maksimum. Untuk meningkatkan efisiensi modul fotovoltaik digunakan teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk penelusuran daya maksimum pada sistem fotovoltaik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan daya keluaran sistem fotovoltaik setelah menggunakan MPPT, dari daya keluaran sistem fotovoltaik tanpa menggunakan MPPT berdasarkan input perubahan iradiasi dan perubahan beban.

Pada penelitian ini, MPPT terdiri dari Boost Converter yang fungsinya menaikkan tegangan keluaran, sedangkan algoritma yang digunakan adalah logika fuzzy yang bekerja berdasarkan besarnya Error (E) dan Change of Error (CE) dari perubahan tegangan dan arus modul fotovoltaik, sehingga logika fuzzy dapat mengatur sudut penyalakan (Duty Cycle) pada Boost Converter agar dihasilkan keluaran daya maksimal pada modul fotovoltaik.

Hasil penelitian menunjukkan setelah menggunakan MPPT, saat diberikan input perubahan tahanan beban dengan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C , dihasilkan daya maksimum pada kondisi input tahanan 20Ω sebesar $59,71 \text{ W}$ untuk $C = 325 \mu\text{F}$ dengan rasio daya $91,86 \%$ dan $46,18 \text{ W}$ untuk $C = 32500 \mu\text{F}$ dengan rasio daya $72,03 \%$, dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT hanya sebesar 23 W . Kemudian saat input perubahan iradiasi dengan tahanan beban 20Ω dan temperatur 25°C dihasilkan daya maksimum pada masing-masing iradiasi tertinggi $746,9 \text{ W/m}^2$, $779,4 \text{ W/m}^2$, dan $839,4 \text{ W/m}^2$ sebesar $38,88 \text{ W}$, $42,07 \text{ W}$, dan $47,8 \text{ W}$ dengan rasio daya $59,81 \%$, $64,72 \%$, dan $73,53 \%$ dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT hanya sebesar $21,7692 \text{ W}$, $21,9613 \text{ W}$, dan $22,2849 \text{ W}$.

Kata Kunci: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Modul Fotovoltaik, Boost Converter, Logika Fuzzy

ABSTRACT

The utilization of solar energy was developed in PLTS (Solar Power), but the power output was not at the maximum output power condition. In order to increase the efficiency of photovoltaic module, MPPT (Maximum Power Point Tracking) is applied in searching the maximum energy in photovoltaic system. This research was aimed to measure how big the increase of output power in photovoltaic system after using MPPT, from output power in photovoltaic system without using MPPT based on input irradiance change and load change.

In this research, the MPPT equipments consist of Boost Converter which function is to raise the output voltage, while fuzzy logic was the algorithm that used in this research, which works based on the magnitude of Error (E) and Change of Error (CE) by the changes of voltage and current in photovoltaic modules, so that fuzzy logic can set the duty cycle on Boost Converter in order to produce a maximum power output in photovoltaic modules.

The research showed that through using MPPT, during giving the input of resistive load change with irradiance 1000 W/m^2 and temperature 25°C , it has been gained the maximum power in resistive input condition 20Ω in amount of $59,71 \text{ W}$ for $C = 325 \mu\text{F}$ with power ratio $91,86 \%$ and $46,18 \text{ W}$ for $C = 32500 \mu\text{F}$ with power ratio $72,03 \%$, comparing with Non-MPPT system that only gained about 23 W . After that, during the input of irradiance change with resistive load 20Ω and temperature 25°C , it produced the maximum power in each the highest irradiances $746,9 \text{ W/m}^2$, $779,4 \text{ W/m}^2$, and $839,4 \text{ W/m}^2$ in amount of $38,88 \text{ W}$, $42,07 \text{ W}$, and $47,8 \text{ W}$ with power ratio by $59,81 \%$, $64,72 \%$, and $73,53 \%$ comparing with Non-MPPT system which only gained $21,7692 \text{ W}$, $21,9613 \text{ W}$, and $22,2849 \text{ W}$.

Keywords: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Photovoltaic Module, Boost Converter, Fuzzy Logic

¹Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln Majapahit 62 Mataram NTB Lombok - Indonesia
Email : 1.i.gedeferryawan@gmail.com, 2.natsir.amin@unram.ac.id, 3. nratha@te.ftunram.ac.id

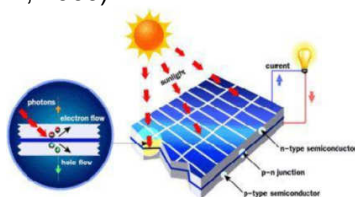
PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, sedangkan ketersediaan energi konvensional seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam semakin sedikit. Maka mulai dikembangkan pemanfaatan energi surya sebagai energi baru dan terbarukan pada PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Daya listrik pada modul fotovoltaik sangat dipengaruhi kondisi lingkungan yang membuat daya listrik yang dihasilkan tidak pada kondisi daya keluaran maksimum, maka untuk meningkatkan efisiensi modul fotovoltaik digunakan teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang merupakan suatu peralatan yang dilengkapi dengan algoritma untuk penjejakan atau penelurusan daya maksimum pada sistem fotovoltaik.

Pada penelitian ini, peralatan MPPT yang digunakan adalah terdiri dari *DC-DC Converter* dengan jenis *Boost Converter* yang fungsinya menaikkan *output* dari modul fotovoltaik seiring dengan kondisi perubahan intensitas cahaya matahari (iradiasi) dan perubahan beban, sedangkan algoritma yang digunakan untuk penjejakan titik daya maksimum modul fotovoltaik adalah Logika Fuzzy yang berfungsi untuk mengatur sudut penyalaan (*Duty Cycle*) pada *Boost Converter* agar dihasilkan keluaran daya maksimal pada modul fotovoltaik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan daya keluaran sistem fotovoltaik setelah menggunakan MPPT, dari daya keluaran sistem fotovoltaik tanpa menggunakan MPPT berdasarkan inputan perubahan iradiasi dan perubahan beban.

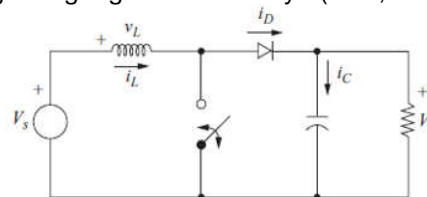
Sel Surya. bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor *silicon* yang bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n (Saladin, 2009).



Gambar 1. Proses energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya

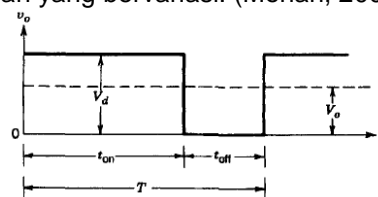
Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Ketika sinar matahari yang terdiri dari foton-foton jatuh pada permukaan bahan sel surya akan diserap bahan tersebut, seperti Gambar 1, maka semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, dimana foton-foton ini akan menggerakkan elektron dan hole. Kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p, pada kondisi ini akan dihasilkan medan listrik. Jika kedua ujung sambungan p-n dihubungkan dengan sebuah rangkaian listrik, maka akan mengalir arus listrik ke rangkaian tersebut.

Boost Converter. merupakan salah satu jenis dari *DC-DC Converter* yang memiliki karakteristik tegangan keluaran yang dihasilkan selalu lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya (Hart, 2011).



Gambar 2. Rangkaian Boost Converter

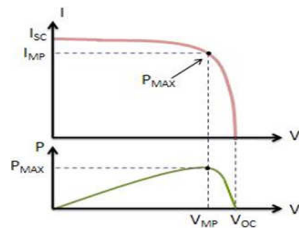
Pulse Width Modulation (PWM) merupakan teknik memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode yang digunakan pada Proses *switching* pada *converter* untuk menghasilkan output tegangan yang bervariasi. (Mohan, 2003)



Gambar 3. Sinyal PWM

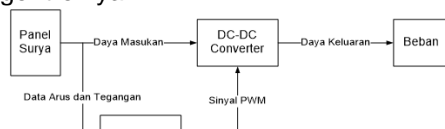
Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sistem elektronik yang mengontrol sistem fotovoltaik sehingga fotovoltaik dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronis yang terkonsentrasi untuk mencari titik maksimum karakteristik tegangan (V_{MP}) dan arus (I_{MP}) modul fotovoltaik seperti pada Gambar. 4, sehingga diharapkan daya keluaran

maksimum (P_{MAX}) dapat dihasilkan pada modul fotovoltaik dengan menggunakan MPPT (Wibawa, 2015).



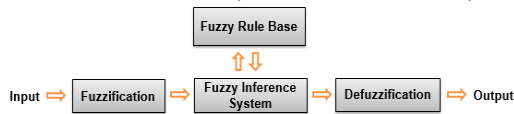
Gambar 4. Kurva titik MPPT berada di P_{max}

DC-DC Converter dan kontrol digital. Dikarenakan kontrolnya berupa digital maka diperlukan algoritma untuk mengontrolnya.



Gambar 5. Blok Diagram MPPT

Logika fuzzy adalah suatu metode yang digunakan untuk memetakan sebuah ruang input ke ruang output dengan menggunakan persamaan IF-THEN (Kusumadewi, 2002).



Gambar 6. Proses Logika Fuzzy

Ada empat bagian utama dalam kontrol logika fuzzy :

1. **Fuzzification** : proses mengubah besaran input dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi suatu himpunan fuzzy (*Fuzzy set*) yang berupa variabel linguistik.
2. **Fuzzy Rule Base** : aturan yang digunakan sebagai acuan sistem.
3. **Fuzzy Inference System** : proses penalaran menggunakan fuzzy input hasil fuzzifikasi dan melakukan evaluasi aturan (*rule base*) yang telah ditentukan, sehingga menghasilkan fuzzy output.
4. **Defuzzification** : proses mengubah besaran fuzzy output hasil *Fuzzy Inference System* menjadi *crisp output*.

METODOLOGI PENELITIAN

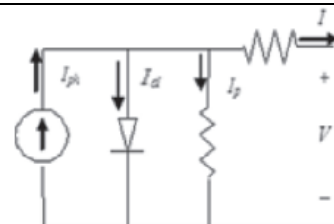
Penelitian ini fokus pada rancangan simulink MATLAB dari sistem MPPT menggunakan Boost Converter dengan algoritma menggunakan Logika Fuzzy. Kemudian hasil keluaran sistem akan dibandingkn saat sistem fotovoltaik tanpa

menggunakan MPPT dan dengan menggunakan MPPT.

Desain Modul Fotovoltaik pada simulink MATLAB dibangun dengan persamaan matematis dari rangkaian ekuivalen modul fotovoltaik seperti pada Gambar 7 (Bellia, 2014).

Tabel 1. Spesifikasi modul fotovoltaik SHARP model ND-T065M1

Parameter	Besaran	Kondisi
No. of cells and connections (N_s)	36 in series	
Open circuit voltage (V_{oc})	22 V	Irradiance : 1000 W/m ²
Maximum power voltage (V_{pm})	17,5 V	Module temperature : 25°C
Short circuit current (I_{sc})	4,05 A	
Maximum power current (I_{pm})	3.72 A	
Maximum power	65 W	



Gambar 7. Rangkaian ekuivalen modul fotovoltaik

Dengan persamaan sebagai berikut (Rekioua, 2012) :

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} (I_{sc,ref} + \mu_{sc}(T_c - T_{c,ref})) \dots\dots\dots (1)$$

$$I_{o,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{\left(\exp\left(\frac{qV_{oc,ref}}{N_s A k T_c}\right)\right)} \dots\dots\dots (2)$$

$$I_o = I_{o,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)^3 \exp\left[\left(\frac{q \cdot \epsilon \cdot G}{A \cdot k}\right) \left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T_c}\right)\right] \dots\dots\dots (3)$$

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \dots\dots\dots (4)$$

$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{qV + I \cdot R_s}{N_s A k T_c}\right) - 1\right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \dots\dots\dots (5)$$

Desain Boost Converter. membutuhkan perhitungan yang tepat untuk mendapatkan hasil tegangan yang baik agar dihasilkan keluaran modul fotovoltaik yang maksimum. Beberapa variabel perlu ditetapkan pada desain Boost Converter pada penelitian ini, sebagai berikut (Aji, 2013) :

Menghitung nilai duty cycle (D) :

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{21}{70} = 0.7 = 70\% \dots\dots\dots (6)$$

Menghitung nilai beban (R) :

$$I_{out} = \frac{P}{V_{out}} = \frac{65}{70} = 0.928 A \dots\dots\dots (7)$$

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} = \frac{70}{0.928} = 75.43 \Omega \dots\dots\dots (8)$$

Menghitung arus induktor (I_L) :

$$\Delta I_L = 0.2 \times I_{in} \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta I_L = 0.2 \times I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in}} \dots\dots\dots (10)$$

$$\Delta I_L = 0.2 \times 0.928 \times \frac{70}{21} = 0.619 \text{ A} \dots\dots\dots (11)$$

Menghitung nilai induktor :

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta I_L \times f \times V_{out}} \dots\dots\dots (12)$$

$$L = \frac{21 \times (70 - 21)}{0.619 \times 20000 \times 70} = 1.187 \text{ mH} \dots\dots\dots (13)$$

Menghitung nilai capasitor (C) :

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_r} = 0.1 \text{ V dan } 0.001 \text{ V}$$

$$C = \frac{V_{out} \times D}{\frac{\Delta V_{out}}{V_r} \times f \times R} \dots\dots\dots (14)$$

$$C = \frac{70 \times 0.7}{0.1 \times 20000 \times 75.43} = 325 \mu\text{F} \dots\dots\dots (15)$$

$$C = \frac{70 \times 0.7}{0.001 \times 20000 \times 75.43} = 32500 \mu\text{F} \dots\dots\dots (16)$$

Logika Fuzzy. sebagai algoritma pada MPPT, memerlukan beberapa tahapan di dalam perancangannya menggunakan toolbox Fuzzy pada MATLAB, sebagai berikut :

Pembentukan Himpunan Fuzzy

- a. *Error* (E) sebagai masukan fuzzy
- b. *Change of Error* (CE) sebagai masukan fuzzy

c. *Duty Cycle* (D) sebagai keluaran fuzzy.

Fuzzifikasi ada Sistem Fuzzy terdapat dua buah *input*, yaitu *Error* (E) dan *Change of Error* (CE) yang dihitung dari persamaan berikut (Mahamudul, 2013) :

$$E(K) = \frac{\Delta I}{\Delta V} + \frac{I}{V} = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{\Delta P}{\Delta I} \dots\dots\dots (17)$$

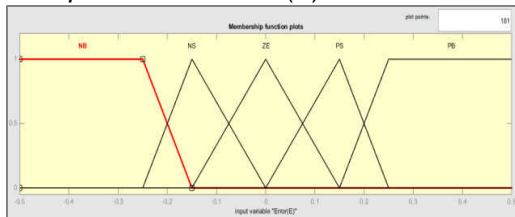
$$CE(K) = E(K) - E(K - 1) \dots\dots\dots (18)$$

$$\Delta I = I(K) - I(K - 1) \dots\dots\dots (19)$$

$$\Delta V = V(K) - V(K - 1) \dots\dots\dots (20)$$

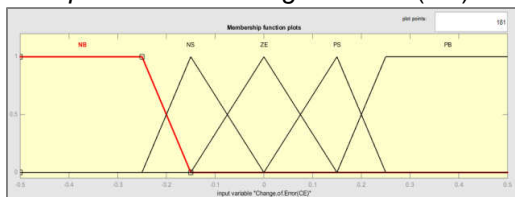
$$\Delta P = P(K) - P(K - 1) \dots\dots\dots (21)$$

a. *Input Variabel Error* (E)



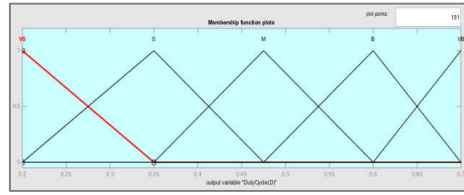
Gambar 8. Variabel Error (E)

b. *Input Variabel Change of Error* (CE)



Gambar 9. Variabel Change of Error (CE)

c. *Output Variabel Duty Cycle* (D)



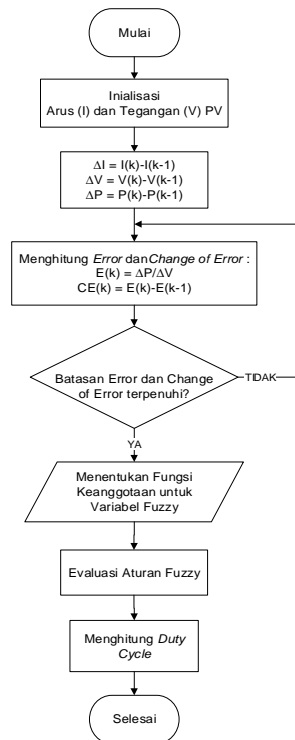
Gambar 10. Variabel Duty Cycle (D)

Aplikasi fungsi implikasi. Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. Sedangkan komposisi aturan Melakukan komposisi semua output dengan menggunakan metode Max.

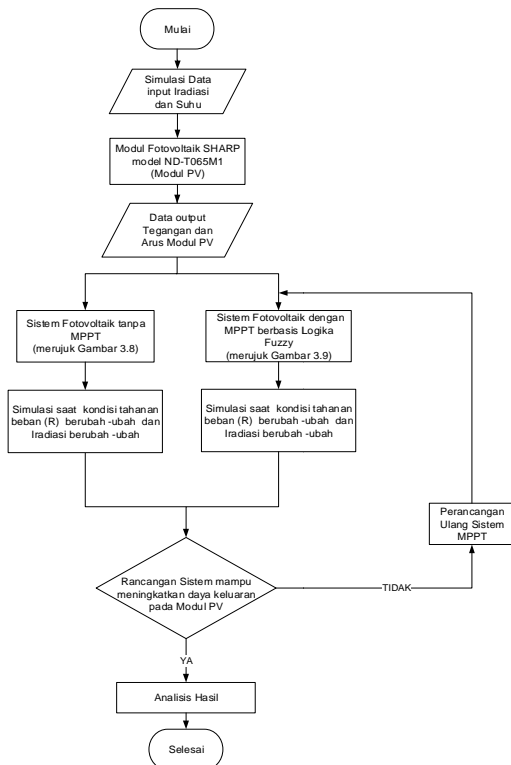
Tabel 2. Aturan Logika Fuzzy

E \ CE	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	M	M	VB	VB	VB
NS	M	M	B	B	B
ZE	B	M	M	M	S
PS	S	S	S	M	M
PB	VS	VS	M	M	M

Defuzzifikasi. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid untuk menghitung keluaran *Duty Cycle*.



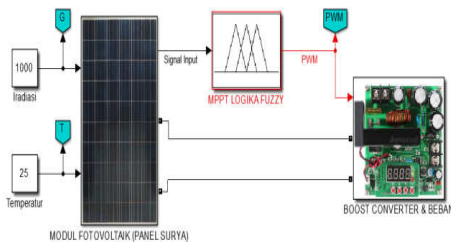
Gambar 11. Diagram alir Logika Fuzzy



Gambar 12. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Sistem MPPT. telah dilakukan sedemikian rupa sehingga diharapkan pengujian sistem dapat bekerja dengan baik untuk kondisi iradiasi dan beban yang berubah-ubah.



Gambar 13. Rancangan Sistem MPPT

Data Sistem. Dalam penelitian ini akan digunakan pada pengujian saat sistem fotovoltaik tanpa menggunakan MPPT dan sistem fotovoltaik menggunakan MPPT, dimana terdapat data masukan yang akan digunakan ada dua jenis yang masing-masing memiliki parameter data masukan yang tetap dan variabel, sebagai berikut :

1. Diberikan data dengan parameter yang variabel berupa nilai beban yang berubah dan data dengan parameter yang tetap berupa suhu modul dan iradiasi.

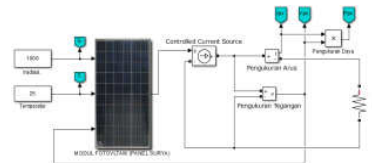
2. Diberikan data dengan parameter yang variabel berupa nilai iradiasi yang berubah dan data dengan parameter yang tetap berupa suhu modul dan beban. Untuk data iradiasi yang berubah-ubah digunakan data pengukuran dilapangan. Sampel data 3 hari, sebagai berikut :

Tabel 3. Data pengukuran iradiasi di lapangan

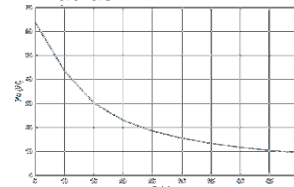
Pukul (WITA)	Kamis, 14 April 2016	Minggu, 17 April 2016	Senin, 18 April 2016
	Irradiasi (W/m ²)	Irradiasi (W/m ²)	Irradiasi (W/m ²)
09.00	348,1	401,9	65,6
10.00	376,9	576,9	135,6
11.00	175,6	133,1	118,1
12.00	144,4	779,4	839,4
13.00	746,9	739,4	774,4
14.00	124,4	644,4	670,6
15.00	126,9	466,9	535,6
16.00	69,4	408,1	344,4

Pengujian Sistem MPPT. Dilakukan untuk mengetahui daya yang mampu dihasilkan panel surya saat diberikan dua kondisi pengujian yang berbeda yaitu perubahan beban dan perubahan iradiasi.

Pengujian Sistem Fotovoltaik Tanpa MPPT dengan Perubahan Beban pada Irradiasi 1000 W/m² dan Suhu 25°C. Pengujian pada Gambar 14, saat sistem diberikan nilai perubahan beban dari 5 Ω sampai 50 Ω dengan nilai iradiasi hanya pada 1000 W/m² dan suhu modul fotovoltaik 25°C .



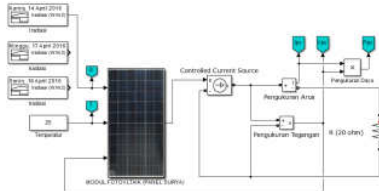
Gambar 14. Rangkaian sistem input perubahan iradiasi



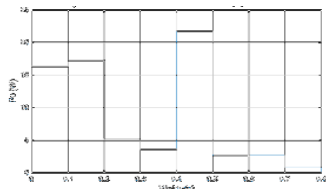
Gambar 15. Grafik daya keluaran terhadap perubahan beban

Pada pengujian ini daya keluaran yang dihasilkan semakin kecil seiring perubahan nilai beban yang semakin besar. Hal ini disebabkan sifat beban murni resistif sebagai penghambat arus, akan mengurangi nilai arus ke beban ketika diberikan nilai beban yang semakin besar.

Pengujian Sistem Fotovoltaik Tanpa MPPT dengan Perubahan Iradiasi pada Beban 20 Ω dan Suhu 25°C. Pengujian pada Gambar 16, saat sistem diberikan nilai perubahan iradiasi dilapangan sesuai data Tabel 3, dengan kondisi beban sebesar 20 Ω dan suhu modul fotovoltaik 25°C.

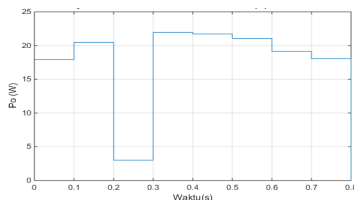


Gambar 16. Rangkaian sistem dengan input perubahan iradiasi



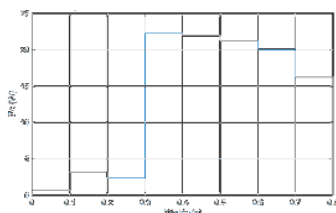
Gambar 17. Grafik daya keluaran modul fotovoltaik terhadap waktu berdasarkan input perubahan iradiasi hari Kamis

Pada Gambar 17, saat diberikan perubahan iradiasi pada sistem fotovoltaik, menghasilkan daya keluaran tertinggi 21,7692 W ketika iradiasi 746,9 W/m² dan menghasilkan daya terendah 0,8194 W ketika iradiasi 69,4 W/m².



Gambar 18. Grafik daya keluaran modul fotovoltaik terhadap waktu berdasarkan input perubahan iradiasi hari Minggu

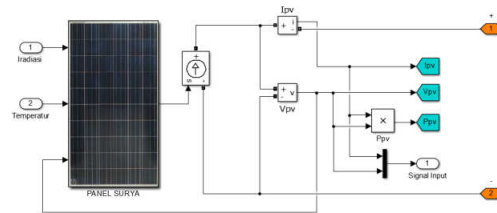
Pada Gambar 18, saat diberikan perubahan iradiasi pada sistem fotovoltaik, menghasilkan daya keluaran tertinggi 21,9613 W ketika iradiasi 779,4 W/m² dan menghasilkan daya terendah 3,0138 W ketika iradiasi 133,1 W/m².



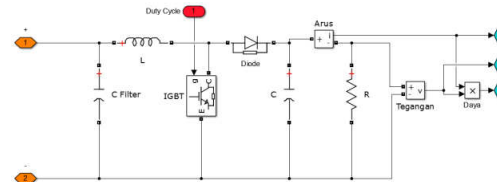
Gambar 19. Grafik daya keluaran modul fotovoltaik terhadap waktu berdasarkan input perubahan iradiasi hari Minggu

Pada Gambar 19, saat diberikan perubahan iradiasi pada sistem fotovoltaik, menghasilkan daya keluaran tertinggi 22,2849 W ketika iradiasi 839,4 W/m² dan menghasilkan daya terendah 0,7322 W ketika iradiasi 65,6 W/m².

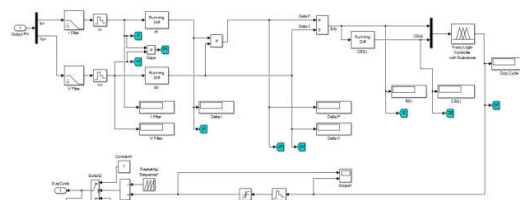
Pengujian Sistem Fotovoltaik Menggunakan MPPT dengan Perubahan Beban pada Iradiasi 1000 W/m² dan Suhu 25°C. Pengujian sistem fotovoltaik dengan MPPT untuk mengetahui daya mampu dihasilkan modul fotovoltaik dengan menggunakan MPPT. Maka dibuatlah rancangan sistem MPPT pada Gambar 13, yang terdiri dari subsistem dengan rangkaian didalamnya sebagai berikut :



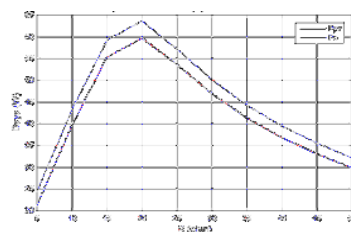
Gambar 20. Subsistem modul fotovoltaik



Gambar 21. Subsistem Boost Converter



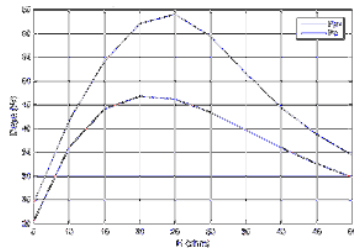
Gambar 22. Subsistem MPPT Logika Fuzzy



Gambar 23. Grafik daya sistem MPPT terhadap perubahan beban, saat C = 325 μF pada Boost Converter

Pada Gambar 23, terlihat bahwa titik daya maksimum 59,71 W yang mampu dihasilkan sistem fotovoltaik saat sistem diberikan beban 20 Ω, dengan tegangan

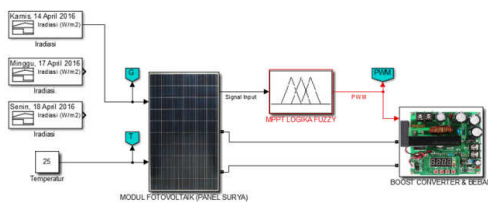
keluaran maksimum 34,56 V dan arus keluaran maksimum 1,728 A.



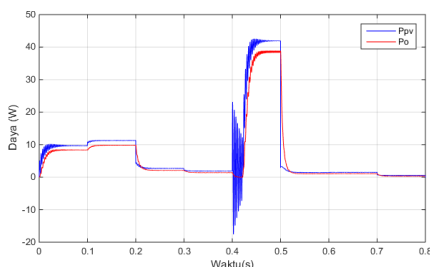
Gambar 24. Grafik daya sistem MPPT terhadap perubahan beban, saat $C = 32500 \mu\text{F}$ pada Boost Converter

Pada Gambar 24, terlihat bahwa titik daya maksimum 46,82 W yang mampu dihasilkan sistem fotovoltaik saat sistem diberikan beban 20Ω . Pada kondisi tersebut sistem MPPT dapat menghasilkan tegangan keluaran maksimum 30,6 V dan arus keluaran maksimum 1,53 A dibandingkan dengan perubahan tahanan yang lain.

Pengujian Sistem Fotovoltaik Menggunakan MPPT dengan Perubahan Iradiasi pada Beban 20Ω dan Suhu 25°C . Pengujian pada Gambar 16, saat sistem diberikan nilai perubahan iradiasi dilapangan sesuai data Tabel 3, dengan kondisi beban sebesar 20Ω dan suhu modul fotovoltaik 25°C . Pengujian dilakukan saat nilai kapasitor (C) pada Boost Converter bernilai $325 \mu\text{F}$.



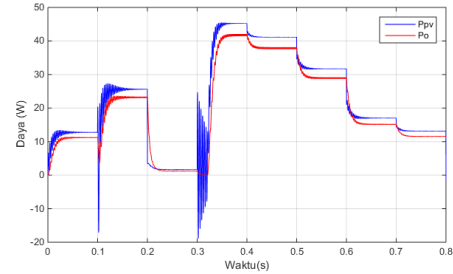
Gambar 25. Rangkaian sistem MPPT dengan input perubahan iradiasi



Gambar 26. Grafik daya keluaran modul fotovoltaik terhadap waktu berdasarkan input perubahan iradiasi hari Kamis

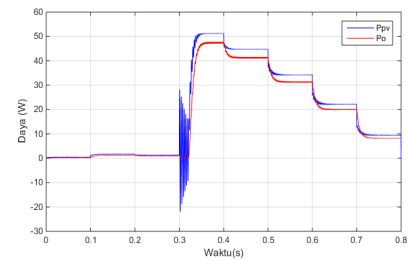
Pada Gambar 26, saat diberikan perubahan iradiasi pada sistem fotovoltaik, menghasilkan daya keluaran tertinggi 38,88 W

ketika iradiasi $746,9 \text{ W/m}^2$ dan menghasilkan daya terendah $0,303 \text{ W}$ ketika iradiasi $69,4 \text{ W/m}^2$.



Gambar 27. Grafik daya keluaran modul fotovoltaik terhadap waktu berdasarkan input perubahan iradiasi hari Minggu

Pada Gambar 27, saat diberikan perubahan iradiasi pada sistem fotovoltaik, menghasilkan daya keluaran tertinggi 38,12 W ketika iradiasi $779,4 \text{ W/m}^2$ dan menghasilkan daya terendah $1,185 \text{ W}$ ketika iradiasi $133,1 \text{ W/m}^2$.



Gambar 28. Grafik daya keluaran modul fotovoltaik terhadap waktu berdasarkan input perubahan iradiasi hari Senin

Pada Gambar 28, saat diberikan perubahan iradiasi pada sistem fotovoltaik, menghasilkan daya keluaran tertinggi 47,8 W ketika iradiasi $839,4 \text{ W/m}^2$ dan menghasilkan daya terendah $0,2687 \text{ W}$ ketika iradiasi $65,6 \text{ W/m}^2$.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan pada penelitian ini, yaitu :

1. Rancangan desain modul fotovoltaik berkapasitas daya maksimum sebesar 65 W pada iradiasi 1000 W/m^2 dan temperature 25°C , untuk rancangan Boost Converter dengan pemilihan kapasitor (C) $325 \mu\text{F}$ dan $32500 \mu\text{F}$ berfungsi menaikkan tegangan keluaran sistem dan memperkecil ripple tegangan keluaran, sedangkan rancangan logika fuzzy dengan himpunan Error (E) dan Change of Error (CE) sebagai inputan untuk proses

perhitungan dengan metode Mamdani menghasilkan *Duty Cycle* (D) sebagai keluaran berfungsi untuk *switching* pada *Boost Converter* sehingga daya keluaran maksimum dapat dihasilkan pada rancangan sistem MPPT.

2. Pengujian sistem setelah pemasangan MPPT saat diberikan inputan perubahan tahanan beban dengan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C , dihasilkan daya maksimum pada kondisi inputan tahanan 20Ω sebesar $59,71 \text{ W}$ untuk $C = 325 \mu\text{F}$ dan $46,18 \text{ W}$ untuk $C = 32500 \mu\text{F}$ dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT hanya sebesar 23 W .
3. Pengujian sistem setelah pemasangan MPPT saat diberikan inputan perubahan iradiasi dengan tahanan beban 20Ω dan temperatur 25°C dihasilkan daya maksimum pada masing-masing iradiasi tertinggi $746,9 \text{ W/m}^2$, $779,4 \text{ W/m}^2$, dan $839,4 \text{ W/m}^2$ sebesar $38,88 \text{ W}$, $42,07 \text{ W}$, dan $47,8 \text{ W}$ dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT hanya sebesar $21,7692 \text{ W}$, $21,9613 \text{ W}$, dan $22,2849 \text{ W}$.
4. Pengujian sistem setelah pemasangan MPPT saat diberikan inputan perubahan tahanan beban dengan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C , dihasilkan rasio daya tertinggi pada kondisi inputan tahanan 20Ω sebesar $91,86 \%$ untuk $C = 325 \mu\text{F}$ dan $72,03 \%$ untuk $C = 32500 \mu\text{F}$, dengan masing-masing peningkatan sebesar $56,48 \%$ dan $36,65 \%$ dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT.
5. Pengujian sistem setelah pemasangan MPPT saat diberikan inputan perubahan iradiasi dengan tahanan beban 20Ω dan temperatur 25°C , dihasilkan rasio daya tertinggi setelah pemasangan MPPT adalah $59,81 \%$ untuk iradiasi $746,9 \text{ W/m}^2$, $64,72 \%$ untuk iradiasi $779,4 \text{ W/m}^2$, dan $73,53 \%$ untuk iradiasi $839,4 \text{ W/m}^2$ dengan masing-masing peningkatan sebesar $26,32\%$, $30,98 \%$, dan $39,25 \%$ dibandingkan dengan sistem tanpa MPPT.

SARAN

Perlu dikembangkan lebih lanjut untuk perancangan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan metode kecerdasan

buatan (AI) yang lain seperti *Artificial Neural Network* (ANN), *Adaptif Neuro Fuzzy Interference System* (ANFIS), *Genetic Algorithm* (GA), dan kombinasi beberapa metode (*Hybrid*).

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, S., Ajiatmo D., Suryoatmojo H., 2013, *MPPT Based on Fuzzy Logic Controller (FLC) Photovoltaic (PV) System in Solar Car*, MEV Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, Vol. 4, No. 2, ISSN : 2088-6985.
- Bellia, H., Youcef, R., Fatima, M., 2014, *A Detailed Modeling of Photovoltaic Module using Matlab*, NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics. Vol. 3, No. 1. p. 53-61.
- Hart, D. W., 2011, *Power Electronics*, McGraw-Hill, New York, USA.
- Kusumadewi, S., 2002, *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Mahamudul, H., Saad, M., and Henk, M. I., 2013, *Photovoltaic System Modeling with Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Algorithm*, International Journal of Photoenergy. ISSN : 762946
- Mohan, N., Undeland T, M., and Robbins W. P., 2003, *Power Electronics Converters, Applications, and Design Third Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.
- Rekioua, D., and Matagne, E., 2012, *Optimization of Photovoltaic Power Systems Modelization, Simulation, and Control*, Springer, London, UK.
- Saladin, I., 2009, *Simulasi Pengontrolan Sistem PLTS 50 WP dengan MATLAB*, Skripsi Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Wibawa, M. T., 2015, *Penjejakan Titik Daya Maksimum pada Sistem Photovoltaik menggunakan Boost Konverter dengan Teknik Perturb and Observe*, Skripsi Teknik Elektro, Universitas Mataram.