

# Penerapan Algoritma Fuzzy Logic Pada Solar MPPT Controller

**Bima Romadhon Parada Dian Palevi\***, Irrine Budi Sulistiawati

Teknik Elektro S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, Kampus 2 Jalan Raya Karanglo Km. 2 Malang, Indonesia

\*bimarpdp@lecturer.itn.ac.id

## Kata Kunci :

*Buck Converter*  
*Energy*  
*Fuzzy Logic*  
*MPPT*  
*Photovoltaic*

## ABSTRAK

*Photovoltaic (PV)* adalah sebuah efek yang mengubah cahaya menjadi energi listrik akibat tumbukan photon pada material. PV pada umumnya dibuat dari lempeng *semiconductor*, sekarang teknologi ini lebih dikenal sebagai sel surya, atau di pasar dikenal juga sebagai panel surya yang merupakan rangkaian dari beberapa sel, dengan jenis paling populer *silicon polycrystalline* dan *monocrystalline*. Memiliki keunggulan dalam hal ukuran yang compact, efisiensi tinggi, biaya investasi rendah, dan teknologi bersih dalam hal pembangkit listrik energi terbarukan. Sebuah sel surya memiliki karakteristik daya keluaran yang dipengaruhi oleh intensitas radiasi cahaya dan suhu akibat pengaruh lingkungan. Berdasarkan *study* lebih lanjut, beban listrik yang tinggi pada sel surya dapat mempengaruhi efisiensi produksi daya. Pada umumnya sebuah modul *solar charge controller (SCC)* digunakan pada sistem PLTS, yang bertujuan untuk menjaga produksi daya panel surya pada titik optimal. Metode *maximum point power tracking (MPPT)* sering digunakan pada modul SCC karena kehandalannya memaksimalkan produksi daya panel surya, meskipun dalam pengaruh lingkungan dan pembebanan. Pada penelitian ini, dirancang suatu kendali *fuzzy logic* yang diterapkan pada modul MPPT. Pengujian yang telah dilakukan membuktikan metode kendali *fuzzy logic* pada modul MPPT, bekerja dengan baik untuk menjaga produksi daya panel surya tetap maksimal.

*Photovoltaic (PV)* is an effect that converts light into electrical energy due to the collision of photons on the material. PV is generally made of semiconductor plates, now this technology is better known as solar cells, or in the market also known as solar panels which are a series of several cells, with the most popular types being polycrystalline and monocrystalline silicon. It has advantages in terms of compact size, high efficiency, low investment costs, and clean technology in terms of renewable energy power generation.

*A solar cell has an output power characteristic that is influenced by the intensity of light radiation and temperature due to environmental influences. Based on further studies, the high electrical load on solar cells can affect the efficiency of power production. In general, a solar charge controller (SCC) module is used in a PV mini-grid system, which aims to maintain solar panel power production at an optimal point. The maximum point power tracking (MPPT) method is often used in SCC modules because of its reliability in maximizing solar panel power production, even under environmental influences and loading. In this research, a fuzzy logic control is designed which is applied to the MPPT module. The tests that have been carried out have proven that the fuzzy logic control method on the MPPT module works well to maintain maximum solar panel power production.*

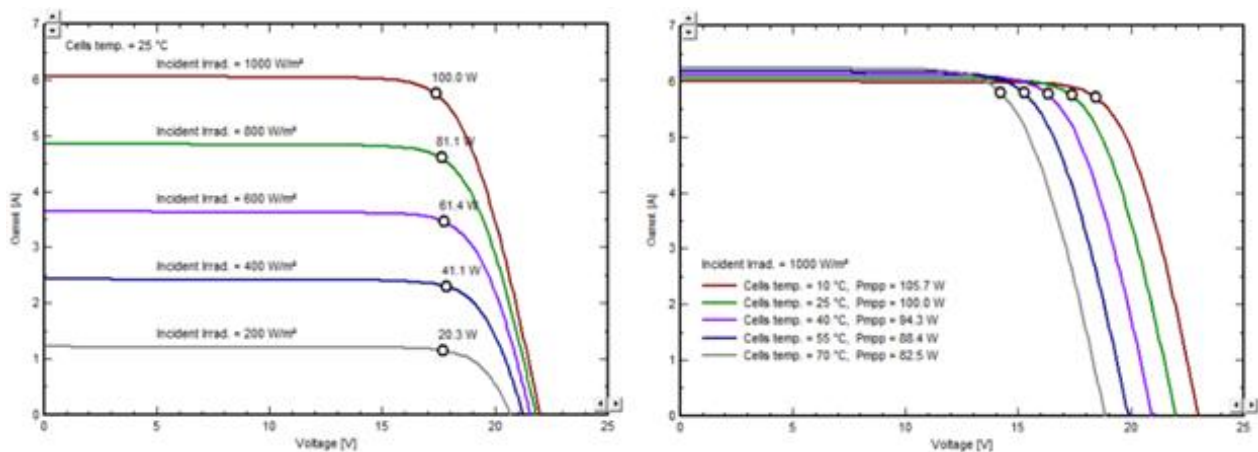
---

## 1. Pendahuluan

Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), penggunaan energi terbesar hingga tahun 2015 didominasi oleh sumber fosil, dimana minyak menjadi yang terbesar dengan persentase 47% (550 juta barel), batu bara dan gas alam masing-masing sebesar 24%, sedangkan 5% sisanya adalah Energi Baru Terbarukan (EBT). Indonesia memiliki sumber daya EBT yang besar, dengan potensi energi angin sebesar 950 MW, matahari 11 GW, air 75 GW, biomasa 32 MW, biofuel 32 MW, arus laut sebesar 60 GW, dan geothermal sebesar 29 GW (EBTKE dan Ketenagalistrikan, 2016). Sejak pemerintah mengeluarkan kebijakan melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang “Kebijakan Energi Nasional”, sejak saat itu pemanfaatan EBT semakin populer dalam beberapa tahun terakhir, terutama pembangkit energi surya dengan pertumbuhan rata-rata mencapai 60%/tahun (Md Moktadir Rahman, Ali Arefi, et al, 2016). Dengan potensi radiasi matahari rata-rata 4,5-5,5 KWh/m<sup>2</sup>/hari (Asrori Asrori, Eko Yudiyanto, 2019), menjadikan sel surya jawaban atas kebutuhan energi listrik (Prasanth K. Enaganti, Prabhat K. Dwivedi, et al, 2020) (Handoko Rusiana Iskandar, Yuda Bakti Zainal, et al, 2017), mengingat rasio elektrifikasi Indonesia hanya 87%, atau sekitar 8,5 juta penduduk belum teraliri listrik (Hasbi Assiddiq S, Irma Dinahkandy, 2018). Hal ini menjadikan Indonesia tertinggal dari Singapura (100%), tetapi masih lebih baik dibandingkan Malaysia (85%) dan Brunei (85%) (Latif Adam, 2016). Sel surya memiliki keunggulan dalam biaya produksi yang murah, efisiensi yang tinggi, dan merupakan teknologi EBT yang bersih (Liang Jiang, Sai Cui, et al, 2020). Di pasaran, jenis sel surya didominasi tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline* dengan efisiensi mencapai 15%. Salah satu kelemahan dari *monocrystalline* adalah efisiensinya menurun dalam intensitas cahaya rendah (M. Rif'an, Sholeh HP, et al, 2012), sedangkan *polycrystalline* tetap mampu berfungsi cukup baik (Putriani, M. Basyir, et al, 2019). Untuk mengatasi hal tersebut, maka dalam pemanfaatan sel surya sebagai PLTS terdapat *solar charger controller* (SCC) yang berfungsi menjaga jumlah energi yang diproduksi tetap dalam kondisi maksimum (Tulika Majaw, Reeny Deka, et al, 2018), salah satu metode yang umum digunakan adalah *maximum point power tracking* (MPPT).

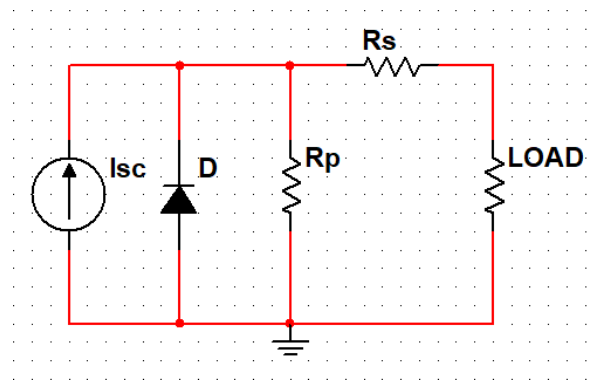
## 2. Dasar Teori

Photovoltaic (PV) adalah sebuah efek yang mengubah cahaya menjadi energi listrik akibat tumbukan photon pada material, sekarang teknologi ini dikenal sebagai sel surya, atau di pasar dikenal juga sebagai panel surya yang merupakan rangkaian dari beberapa sel surya. Panel surya memiliki karakteristik daya berdasarkan intensitas radiasi cahaya, dimana terdapat titik tegangan dimana modul PV menghasilkan daya maksimum yang disebut "*maksimum power point*" (MPP) (Subekti Yuliananda, Gede Surya, et al, 2015) (Syamsul Bahri Widodo, Zainal Arif, et al, 2015). Diketahui pada penelitian lain yang telah dilakukan, pengaruh suhu akibat radiasi cahaya matahari (Asrori Asrori, Eko Yudiyanto, 2019), dan beban listrik yang besar turut mempengaruhi efisiensi panel surya (Gabriel Takyi, Frank Kwabena Nyarko, 2020). Panel surya umumnya menghasilkan daya maksimum pada tegangan 17.1V/25°C, dan 15V pada cuaca yang sangat panas, sedangkan diketahui pada kondisi yang sejuk tegangan panel surya dapat mencapai 18V (Sankar Selavkumar, Madhusmita Mohanty, et al, 2018).



**Gambar 1 - (Kiri) Keluaran Daya Panel Surya Akibat Pengaruh Radiasi; (Kanan) Keluaran Daya Panel Surya Akibat Pengaruh Suhu (100 WP SPV Module. Datasheet. Waaree)**

Ditunjukkan pada kurva Gambar 1, dapat diamati bahwa daya keluaran panel surya berbanding lurus dengan radiasi matahari, dimana semakin tinggi radiasi maka semakin tinggi juga daya keluaran. Sedangkan pada pengaruh kondisi suhu lingkungan, karakteristik panel surya berbanding terbalik, dimana suhu yang rendah akan memiliki keluaran daya yang lebih tinggi dibanding dengan suhu lingkungan yang lebih tinggi pada intensitas radiasi yang sama. Diketahui bahwa efisiensi panel surya juga dipengaruhi oleh faktor pembebanan, sehingga rangkaian ekivalen panel surya dapat dibuat yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 – Rangkaian Ekuivalen Panel Surya

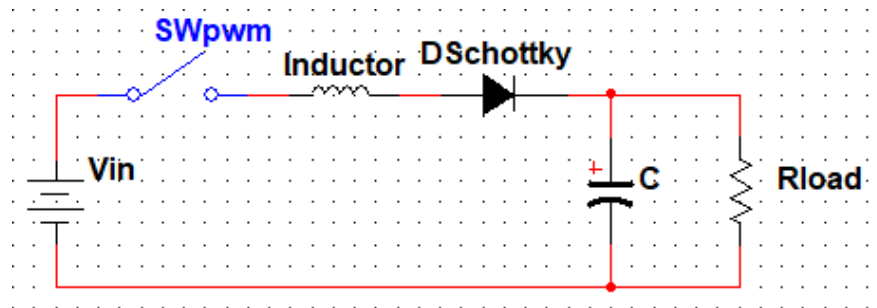
Ada dua resistor dan sebuah dioda pada rangkaian, dimana resistor  $R_p$  secara paralel mewakili rugi-rugi arus bocor akibat resistansi *internal* bahan sel surya dengan hambatan lebih tinggi beberapa  $K\Omega$ ,  $R_s$  adalah rugi-rugi berupa konduktor logam pada rangkaian sel surya pada panel surya termasuk *ribbon strip*, dioda melambangkan kebalikan arus pada p-n junction. Hubungan arus keluaran pada modul PV ditunjukkan pada Persamaan (1),(2):

$$I_{out} = I_{sc} - I_D \quad (1)$$

$$I_D = I_0 \cdot \left( e^{q \cdot \frac{(V+IR_s)}{nKT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$I_{out}$  adalah arus deret PV  $I_0$  mewakili arus balik saturasi jenuh deret sel surya,  $q$  melambangkan muatan elektron,  $K$  adalah konstanta Boltzmann ( $1,38.10^{-23}J/K$ )  $T$  adalah suhu pada sambungan P-N,  $n$  adalah jumlah sambungan P-N. Daya yang dihasilkan oleh sel surya sangat rendah (1–1,5 W) sehingga untuk mendapatkan daya yang tinggi, sel surya harus dihubungkan seri atau paralel. Langkah terpenting untuk menentukan titik daya maksimum panel surya, adalah menentukan kurva karakteristik tegangan-harga dan tegangan-arus panel surya (Unal Yilmaz, Ali Kircay, et al, 2018). MPPT adalah suatu algoritma pencarian daya maksimum yang umum digunakan pada SCC untuk meningkatkan efisiensi produksi daya panel surya (M. A. Laguado-Serrano, E. A. Luna-Paipa, et al, 2019)(Kari Lappalainen, Seppo Valkealahti, 2020). Gambar 1 menunjukkan karakteristik I-V dari efisiensi keluaran non linier dari sel surya karena sel surya memiliki hubungan yang kompleks antara suhu dan radiasi. Dengan demikian, tujuan sistem MPPT adalah untuk mendeteksi daya sel surya dan menerapkan resistansi  $R_s$  yang tepat untuk mendapatkan daya maksimum untuk kondisi lingkungan apa pun (Tulika Majaw, Reeny Deka, et al, 2018). Kinerja ini dihasilkan dengan cara mengukur daya keluaran modul PV, membandingkan dengan tegangan pada baterai kemudian mencari titik tegangan dengan daya tertinggi pada modul PV. Daya tertinggi pada PV tentunya memiliki tegangan yang relatif lebih tinggi dibanding tegangan pada sel baterai, maka diperlukan suatu sistem tambahan berupa sirkuit DC-DC converter yang bekerja berdasarkan konversi daya listrik. Tegangan keluaran pada DC-DC converter disesuaikan dengan tegangan pengisian baterai, sehingga didapatkan arus maksimal pengisian [16](Sankar Selavkumar, Madhusmita Mohanty, et al, 2018)(Adel Mellit, Soteris Kalogirou, 2014)(Amarnath Yalavarthi, Anjanee Mishra, et al, 2018)(Anas Al-rawashdeh, Saleh Al-Jufout, 2019)(V.Renugadevi, W.Margaret Amutha, et al, 2014)(Boualem Boukezata, Abdelmajid Chaoui, et al, 2016)(Bidyadhar Subudhi, Raseswari Pradhan, 2018). Sebuah DC-DC *converter* berjenis *buck converter* memiliki rangkaian ekuivalen yang

ditunjukkan pada Gambar 3. Dimana terdapat suatu sistem switching yang bekerja berdasarkan lebar pulsa (PWM) terkendali pada frekuensi kerja *oscillator* (Shafinaz Lopa, Shahzad Hossain, et al, 2016).  $V_{out}$  pada persamaan 3 merupakan tegangan keluaran yang terjadi pada  $R_{load}$  berdasarkan hukum Northon-Thevenin, tegangan ini terjadi karena adanya nilai resistansi ( $R_{load}$ ) dan arus keluaran *buck coverter* ( $I_{out}$ ) yang ditunjukkan pada persamaan (5). Daya maksimal pada buck converter dapat dihitung menggunakan persamaan (4), yang mana  $I$  merupakan arus beban ( $I_{out}$ ) dan  $R$  adalah  $R_{load}$ . Secara keseluruhan sistem ini dirancang berdasarkan persamaan 3-9.



Gambar 3 – Rangkaian Ekuivalen *Buck Converter*

$$V_{out} = \frac{V}{1-Duty\ Cycle} \quad (3)$$

$$P_{out} = I^2 \cdot R \quad (4)$$

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (5)$$

$$L_{min} = \frac{Duty\ Cycle \cdot (1-Duty\ Cycle)^2}{2 \cdot Freq_{Osc}} \cdot R \quad (6)$$

$$\Delta V_{out} = \frac{V_{out} \cdot Duty\ Cycle}{R \cdot C \cdot Freq_{Osc}} \quad (7)$$

$$C = \frac{V_{out} \cdot Duty\ Cycle}{R \cdot \Delta V_{out} \cdot Freq_{Osc}} \quad (8)$$

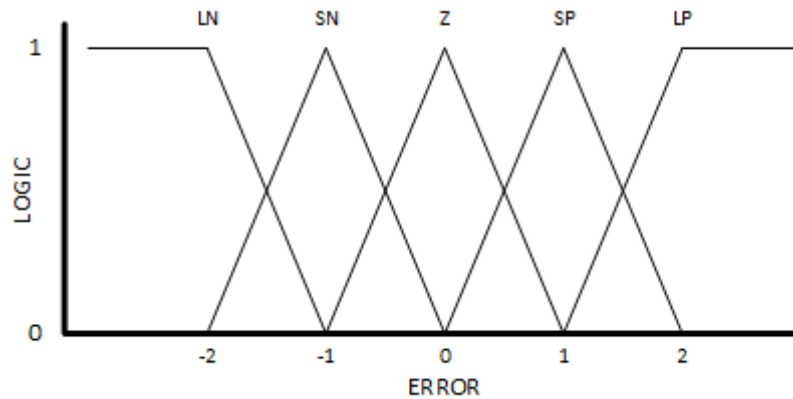
$$I_{max} = \frac{V_{in}}{(1-Duty\ Cycle)^2 \cdot R} + \frac{V_{in} \cdot Duty\ Cycle}{2 \cdot L_{min} \cdot Freq_{Osc}} \quad (9)$$

Dalam kasus buck converter pada SCC MPPT, daya keluaran maksimum dari panel surya dapat dimaksimalkan dengan cara menaik turunkan tegangan  $V_{out}$  yang akan berpengaruh pada besarnya  $I_{out}$  karena terpengaruh dengan nilai  $R_s$  (persamaan 3). Tentunya dalam perancangan ini masih dipengaruhi oleh besarnya *Duty Cycle* pada  $Freq_{Osc}$  yang selanjutnya akan dikendalikan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* secara *close loop*.

### 3. Metode Penelitian

Meskipun MPPT dengan kendali *Fuzzy Logic* memiliki sedikit kerumitan, namun tetap mampu untuk menemukan titik daya maksimum panel surya. Metode MPPT dengan *Fuzzy Logic* tidak membutuhkan pengetahuan tentang model sistem, *Input* dari pengontrol adalah *error*, dengan

output kendali berupa lebar pulsa (*Duty Cycle*) yang digunakan sebagai *trigger switching buck converter* (Unal Yilmaz, Ali Kircay, et al, 2018)(Shiqing Tang, Yize Sun, et al, 2017)(Boualem Boukezata, Abdelmadjid Chaoui, et al, 2016). Proses pertama dalam pemrosesan algoritma *fuzzy* pada aplikasi MPPT adalah dengan membuat *rule base* baik input maupun output. Pada bagian *input* terdapat proses *fuzzyfikasi* (Gambar 4) menggunakan parameter *error* yang didapatkan dari nilai selisih set point, pada hal ini *set point* memiliki nilai disetting pada 17.1V.



Gambar 4 – Rule Base Fuzzyfikasi

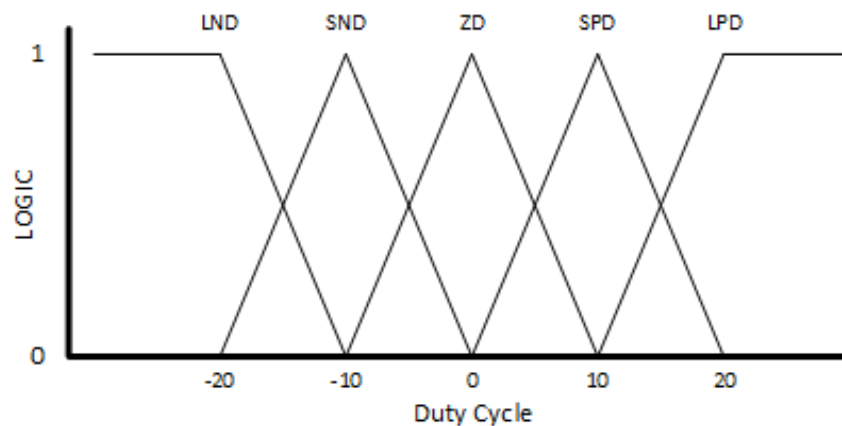
Pada perancangan ini digunakan mikrokontroller Arduino sebagai sistem pengendali *buck converter*, oleh karena itu maka proses selanjutnya adalah membuat *Pseudo code* pada bagian *fuzzyfikasi* dijelaskan sebagai berikut,

```

x := Set_point - Vpv;
a := minA;
b := CoA;
c := maxA;

if (x <= a) then
begin
  fuz := 0;
end
else if ((a <= x) and (x <= b)) then
begin
  fuz := (a-x)/(a-b);
end
else if ((b <= x) and (x <= c)) then
begin
  fuz := (x-c)/(b-c);
end
else if (x >= c) then
begin
  fuz := 0;
end

```



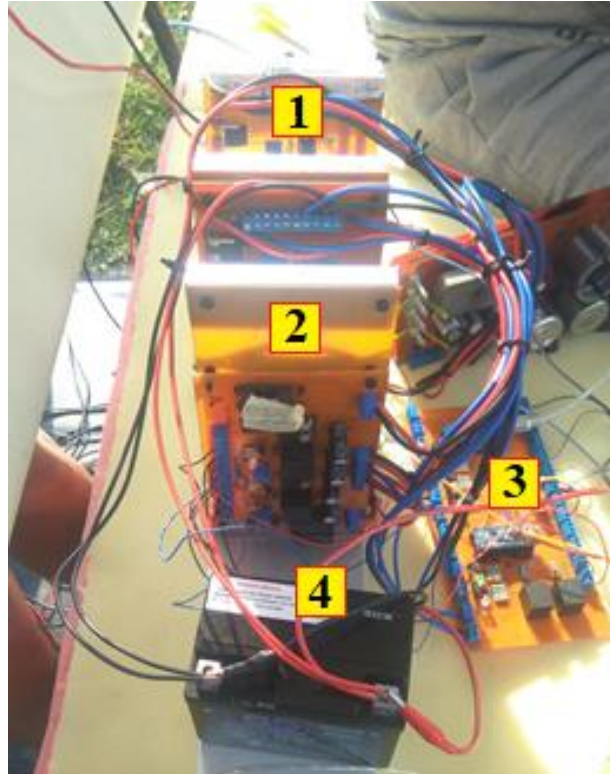
**Gambar 5 – Rule Base Defuzzyfikasi**

Proses selanjutnya adalah mesin *inference* dan bagian terakhir adalah *defuzzyfikasi* (Gambar 5) untuk menentukan nilai *Duty Cycle* yang digunakan sebagai *output* kendali untuk mengatur *buck converter* MPPT controller, *pseudo code* mesin *inference* dan *defuzzyfikasi* dijelaskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Inference} &:= \text{fuz\_LN} \cdot \text{CoAout\_LN} + \text{fuz\_MN} \cdot \text{CoAout\_MN} + \text{fuz\_S} \cdot \text{CoAout\_S} \\
 &+ \text{fuz\_MP} \cdot \text{CoAout\_MP} + \text{fuz\_LP} \cdot \text{CoAout\_LP}; \\
 \text{Defuzzy} &:= \text{output} + \text{Inference};
 \end{aligned}$$

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 7), (2) merupakan rangkaian proteksi arus dan tegangan lebih untuk menjaga sistem bekerja dengan aman ketika ada *short circuit*, (3) rangkaian kendali dan *datalogger*, (4) baterai. Pengujian awal dilakukan dengan pengujian algoritma kendali *fuzzy*. Pada pengujian ini hasil menunjukkan bahwa tingkat kestabilan sistem memiliki kecepatan hingga 0.46 detik (Gambar 8). Pada pengujian performa panel surya, pengujian dilakukan selama 8 hari pada kondisi lingkungan sekitar, sebuah *dummy load* dengan nilai resistansi 1.6 ohm 200 watt digunakan pada pegujian. *Dummy load* ini dipasang secara paralel dengan panel surya, I-V pada panel surya direkam menggunakan sebuah *datalogger* yang terhubung dengan perangkat komputer. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9, yang menunjukkan grafik energi listrik, dan Tabel 1 yang menunjukkan hasil daya panel surya dalam Watt/M<sup>2</sup>/Hari yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan MPPT controller dan tanpa MPPT.

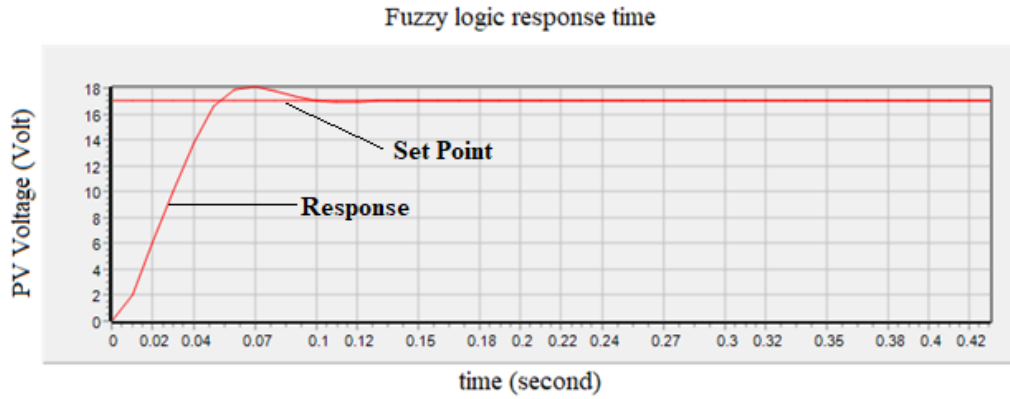


**Gambar 6 – Purwa rupa MPPT Controller Metode Fuzzy Logic**

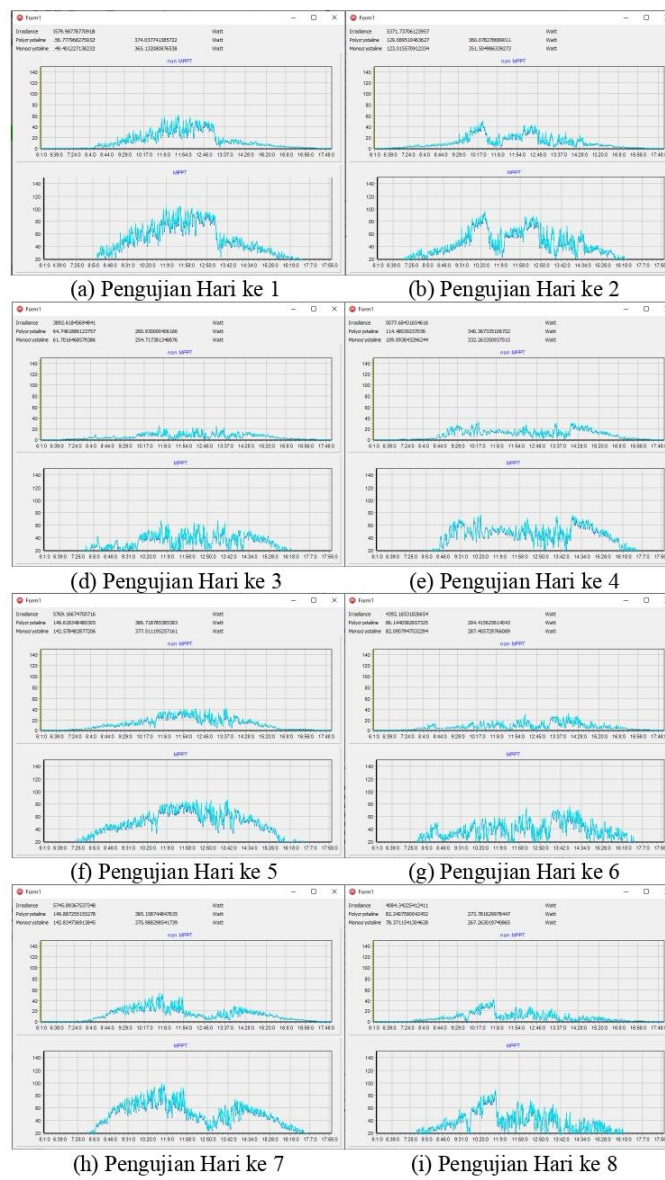


**Gambar 7 – Peletakan Panel Surya, Datalogger, dan Dummy Load**





Gambar 8 – Respon Kendali *Fuzzy Logic*



Gambar 9 – Grafik Radiasi Cahaya Matahari Selama 8 Hari

Tabel 1 – Radiasi Matahari dan Daya Keluaran Panel Surya

Radiasi Matahari (Watt/M <sup>2</sup> /Hari)	Monocrystalline (Watt/M <sup>2</sup> )/Hari		Polycrystalline (Watt/M <sup>2</sup> /Hari)	
	MPPT	Non MPPT	MPPT	Non MPPT
	Hari Ke-1 (5579.9)	510.7	214.0	529.1
Hari Ke-2 (5371.7)	491.6	176.1	509.3	178.2
Hari Ke-3 (3892.6)	356.2	88.3	369.1	89.4
Hari Ke-4 (5077.6)	464.7	156.2	481.4	157.9
Hari Ke-5 (5769.1)	528.0	204.3	547.0	206.5
Hari Ke-6 (4392.1)	402.0	117.6	416.5	118.8
Hari Ke-7 (5745.8)	525.8	204.5	544.7	206.9
Hari Ke-8 (4084.3)	373.7	112.2	387.2	113.5

## 5. Kesimpulan

Pada pengujian yang telah dilakukan selama 8 hari yang dilakukan mulai pukul 06.00 WIB hingga 18.00 WIB pada lokasi pengujian Kampus II ITN Malang, Jl. Raya Karanglo Km.2, Malang. Koordinat, : -7.97343888753, 112.629970996, pada tanggal 5-12 November 2021 dapat disimpulkan data radiasi matahari rata-rata sebesar 4989.1 Watt/M<sup>2</sup>/Hari. Daya rata-rata panel surya berjenis *polycrystalline* mencapai 159.1 Watt/M<sup>2</sup>/Hari (efisiensi 3.19%) pada aplikasi tanpa MPPT dan 456.5 Watt/M<sup>2</sup>/Hari (efisiensi 9.15%) pada aplikasi MPPT, kemudian pada jenis *monocrystalline* mencapai 160.9 Watt/M<sup>2</sup>/Hari (efisiensi 3.23%) pada aplikasi tanpa MPPT dan 473.0 Watt/M<sup>2</sup>/Hari (efisiensi 9.48%) pada aplikasi MPPT. Terbukti bahwa penggunaan modul MPPT mampu memaksimalkan produksi daya listrik panel surya, hal ini dikarenakan pada kondisi pengujian diberikan dummy load dengan hambatan rendah, sehingga tegangan pada panel surya tanpa MPPT drop baik pada jenis *silicon monocrystalline* maupun *polycrystalline*, sebaliknya, pada MPPT tidak terjadi daya turun yang berlebihan.

## Daftar Pustaka

EBTKE dan Ketenagalistrikan. (2016). Jurnal Energi, Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Edisi 2, 2016. Pages 10.

Md Moktadir Rahman, Ali Arefi, et al. (2016). Penetration Maximisation of Residential Rooftop Photovoltaic using Demand Response. ISBN: 978-1-5090-2690-6. ICSGTEIS. Pages 21-26.

Asrori Asrori, Eko Yudiyanto. (2019). Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Sel surya Tipe Mono dan Polykristal. Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol. V No. 2, Oktober 2019. Pages 68-73.

Prasanth K. Enaganti, Prabhat K. Dwivedi, et al. (2020). Study of solar irradiance and performance analysis of submerged monocrystalline and polycrystalline solar cells. willey. Page. 1-11.

Handoko Rusiana Iskandar, Yuda Bakti Zainal, et al. (2017). Studi Karakteristik Kurva I-V dan P-V pada Sistem PLTS Terhubung Jaringan PLN Satu Fasa 220 VAC 50 HZ menggunakan Tracking DC Logger dan Low Cost Monitoring System. Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD-4). Pages 176-183.

Hasbi Assiddiq S, Irma Dinahkandy. (2018). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Berbasis Sel Fotovoltaik Untuk Mengatasi Kebutuhan Listrik Rumah Sederhana di Daerah Terpencil. Jurnal Teknik Mesin UNISKA Vol. 03 No. 02 November 2018 . Pages 88-93.

Latif Adam. (2016). Dinamika Sektor Kelistrikan di Indonesia: Kebutuhan dan Performa Penyediaan. Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Vol 24, No. 1, 2016. Pages 29-41.

Liang Jiang, Sai Cui, et al. (2020). Comparison of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Modules. 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2020). Page 341-344.

M. Rif'an, Sholeh HP, et al. (2012). Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Energi Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Jurnal EECCIS Vol. 6, No. 1, Juni 2012. Pages 44-48.

Putriani, M. Basyir, et al. (2019). Sistem Monitoring Alat Uji Karakteristik Sel Surya Berbasis Mikrokontroler. Jurnal Tektro, Vol. 3, No. 2, September 2019. Pages 102-112.

Tulika Majaw, Reeny Deka, et al. (2018). Solar Charge Controllers using MPPT and PWM: A Review. ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE), Volume 2, Issue 1, February 2018. Pages 1-4.

Subekti Yuliananda, Gede Sarya, et al. (2015). Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Sel Surya. Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya. Pages 193-202.

Syamsul Bahri Widodo, Zainal Arif, et al. (2015). Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Keluaran Daya. Jurnal Ilmiah Jurutera Vol. 02 No. 02 (2015). Pages 38-55.

Asrori Asrori, Eko Yudiyanto. (2019). Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Sel surya Tipe Mono dan Polykristal. Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta Vol. V No. 2, Oktober 2019. Pages 68-73.

Gabriel Takyi, Frank Kwabena Nyarko. (2020). Investigation of the Effect of Temperature Coefficients on Mono-Crystalline Silicon PV Module Installed in Kumasi, Ghana. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2020, 8. Pages 20-34.

Sankar Selavkumar, Madhusmita Mohanty, et al. (2018). High-Speed Maximum Power Point Tracking Module for PV Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Pages 1.

100 WP SPV Module. Datasheet. Waaree.

Unal Yilmaz, Ali Kircay, et al. (2018). PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (2018). Pages 994-1001.

M. A. Laguado-Serrano, E. A. Luna-Paipa, et al. (2019). Performance comparison between PWM and MPPT charge controllers. *Sci. Tech. Año XXIV, Vol. 24, No. 01, marzo de 2019. Universidad Tecnológica de Pereira*. Pages 6-11.

Kari Lappalainen, Seppo Valkealahti. (2020). Number Of Maximum Power Points In Photovoltaic Arrays During Partial Shading Events By Clouds. *Renewable Energy* 152 (2020). Pages 812-822.

Tulika Majaw, Reeny Deka, et al. (2018). Solar Charge Controllers using MPPT and PWM: A Review. *ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, Volume 2, Issue 1, February 2018. Pages 1-4.

Adel Mellit, Soteris Kalogirou. (2014). MPPT-based artificial intelligence techniques for photovoltaic systems and its implementation into field programmable gate array chips: Review of current status and future perspectives. *Energy*. 70. 10.1016/j.energy.2014.03.102.

Amarnath Yalavarthi, Anjanee Mishra, et al. (2018). SRM driven solar irrigation pumping system utilizing modified dual output SEPIC converter. 1-6. 10.1109/ETECHNXT.2018.8385292.

Anas Al-rawashdeh, Saleh Al-Jufout. (2019). Evaluation of Energy Harvest Increase by Distributed Maximum Power Point Tracking. 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT). Pages 145-149.

V.Renugadevi, W.Margaret Amutha, et al. (2014). A Novel Fused Converter Based Hybrid System with MPPT Control for Rural Telephony. 2014 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies[ICCPCT]. Pages 567-572.

Boualem Boukezata, Abdelmadjid Chaoui, et al. (2016). An improved fuzzy logic control MPPT based P&O method to solve fast irradiation change problem. *J. Renewable Sustainable Energy* 8, 043505 (2016).

Bidyadhar Subudhi, Raseswari Pradhan. (2018). A New Adaptive Maximum Power Point Controller for a Photovoltaic System. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.

Shafinaz Lopa, Shahzad Hossain, et al. (2016). Design and Simulation of DC-DC Converters. International Research Journal of Engineering and Technology 3. Pages 62-70.

Shiqing Tang, Yize Sun, et al. (2017). An Enhanced MPPT Method Combining Fractional-Order and Fuzzy Logic Control. IEEE Journal of Photovoltaics. Pages 1-11.

Boualem Boukezata, Abdelmadjid Chaoui, et al. (2016). An improved fuzzy logic control MPPT based P&O method to solve fast irradiation change problem. Journal of Renewable And Sustainable Energy 8, 043505. Pages 1-14.