

Contents list available at www.jurnal.unimed.ac.id

CESS
(Journal of Computing Engineering, System and Science)

journal homepage: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>



**Implementasi Hardware Maximum Power Point Tracking
Menggunakan Konverter Zeta Berbasis Fuzzy Logic Pada PV 100Wp**
**Hardware Implementation of Maximum Power Point Tracking Using
Fuzzy Logic-Based Zeta Converter at PV 100Wp**

Sutedjo^{1*}, Afifuddin Rizqi², Endro Wahjono³

^{1,2,3} Departemen Teknik Elektro, Prodi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya 60111, Indonesia.

Diterima: 25 Nopember 2021 | Diterima setelah perbaikan: 07 Desember 2021 | Disetujui: 11 Desember 2021

ABSTRAK

Sebagai sumber energi terbarukan fotovoltaik berkembang pesat. Fotovoltaik memiliki karakteristik arus dan tegangan non-linier, memiliki nilai daya maksimum pada tegangan optimal, dan bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu dan radiasi. Jadi ada kekhawatiran tentang pasokan listrik yang tidak mencukupi untuk penerangan jalan. Untuk mendapatkan daya maksimum pada setiap iradiasi, diperlukan rangkaian DC-DC converter yang dikendalikan dengan metode pelacakan titik daya maksimum (Maximum Power Point Tracking/MPPT). Oleh karena itu diusulkan MPPT khusus berbasis fuzzy logic. Dengan mengatur mikrokontroler ARM STM32F4 didapatkan duty cycle terbaik pada rangkaian konverter Zeta, sehingga memaksimalkan daya keluaran fotovoltaik dan menghasilkan daya keluaran terbaik. Hasil dari MPPT Fuzzy akan dibandingkan dengan MPPT P&O. Berdasarkan pengujian integrasi secara hardware, MPPT Fuzzy mendapatkan nilai rata – rata akurasi 97.16% terhadap daya maksimal, dan MPPT P&O mendapatkan nilai rata – rata akurasi 91.84% terhadap daya maksimal.

Kata Kunci: *Fuzzy logic, MPPT, Fotovoltaik, Konverter Zeta.*

ABSTRACT

As a renewable energy source, photovoltaic is growing rapidly. Photovoltaic has non-linear current and voltage characteristics, has a maximum power rating at an optimal voltage, and depends on environmental conditions such as temperature and radiation. So there are concerns about insufficient power supply for street lighting. To get maximum power at each irradiation, a DC-DC converter circuit is needed which is controlled by the Maximum Power Point Tracking (MPPT) method. Therefore, a special MPPT based on fuzzy logic is proposed. By adjusting the ARM STM32F4 microcontroller, the best duty cycle is obtained in the Zeta converter circuit, thereby maximizing the photovoltaic output power and producing the best output power. The results of MPPT Fuzzy will be compared with MPPT P&O. Based on

*Penulis Korespondensi:

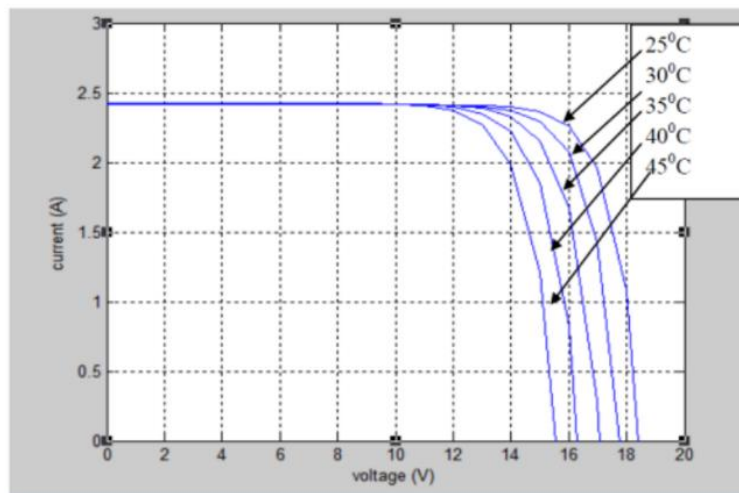
email: sutedjo@pe.pens.ac.id

hardware integration testing, MPPT Fuzzy gets an average accuracy value of 97.16% against maximum power, and MPPT P&O gets an average accuracy value of 91.84% against maximum power.

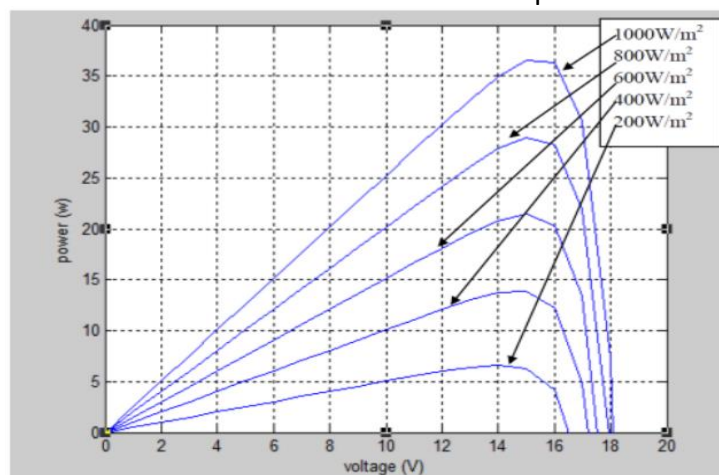
Keywords: Fuzzy logic, MPPT, Photovoltaic, Zeta converter.

1. PENDAHULUAN

Salah satu aplikasi energi surya adalah dengan menggunakan fotovoltaik (PV) atau panel surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, menjadikan sel surya sebagai sumber energi terbarukan dan rendah emisi [1]. Dalam proses pemanfaatannya, karakteristik keluaran *nonlinier* fotovoltaik menunjukkan titik operasi yang unik, yaitu daya maksimum yang dihasilkan pada setiap penyinaran [2]. Saat kondisi matahari berubah, radiasi yang diterima oleh fotovoltaik juga akan berubah, yang mengakibatkan fluktuasi daya keluaran. Daya, tegangan, dan arus maksimum yang dapat dihasilkan PV bervariasi. Setiap modul fotovoltaik memiliki parameter yang berbeda, seperti V_{oc} (tegangan rangkaian terbuka) dan I_{sc} (arus hubung singkat). PV memiliki spesifikasi untuk digunakan pada kondisi ideal atau standar, yaitu pada saat intensitas cahaya matahari 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C .



Gambar 1. Karakteristik I-V fotovoltaik variasi temperatur dan iradiasi tetap



Gambar 2. Karakteristik P-V fotovoltaik variasi iradiasi dan temperatur tetap

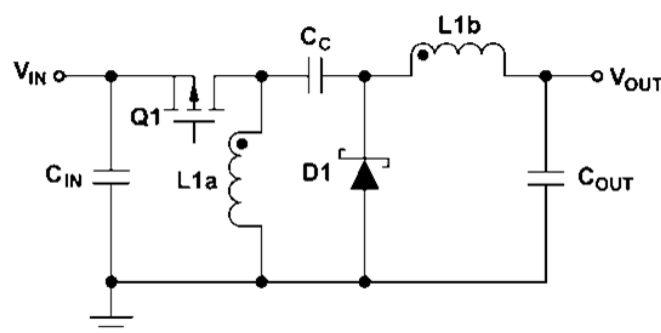
Metode umum untuk meningkatkan efisiensi sistem sel surya adalah dengan mengembangkan pengontrol pelacakan titik daya maksimum (MPPT), yang dapat secara terus menerus melacak titik daya maksimum fotovoltaik (MPP) pada semua radiasi dan suhu [2]. Algoritma konvensional yang biasa digunakan sebagai MPPT adalah algoritma perturbasi dan observasi (P&O) [3]. Penerapan P&O sebagai MPPT umumnya masih memiliki kekurangan dalam pelacakan waktu (*time tracking*), dan kurang akurat dalam mencari titik maksimal.

Untuk mencari titik maksimum PV pada penelitian ini digunakan metode *fuzzy logic controller* yang terintegrasi dengan konverter DC-DC. Algoritma fuzzy memiliki efisiensi dan durasi *tracking* daya yang lebih baik daripada algoritma tradisional lainnya ketika melacak titik maksimum pada PV [4]. Dengan menggunakan kontrol logika fuzzy diharapkan memperoleh *duty cycle switching* yang bervariasi berdasarkan pada kondisi dari PV serta kondisi pada beban. Ada banyak jenis konverter DC-DC, dari yang hanya menaikkan tegangan (*boost converter*) atau hanya menurunkan tegangan (*buck converter*) hingga menaikkan dan menurunkan tegangan (*buck-boost converter*) [5]. Untuk itu pada penelitian ini digunakan konverter Zeta yang merupakan pengembangan dari konverter *Buck-Boost*, namun perbedaannya adalah polaritas keluaran konverter Zeta tidak terbalik [6].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Konverter Zeta

Pada penelitian ini digunakan konverter Zeta sebagai DC *chopper* yang akan diintegrasikan dengan *fuzzy logic*. Tegangan dan arus keluaran PV akan diproses terlebih dahulu oleh konverter Zeta. Prinsip kerja konverter Zeta mirip dengan konverter *Buck-Boost*, yaitu dapat menaikkan atau menurunkan tegangan DC yang diinput sesuai dengan *duty cycle* dari komponen switching [6] [7] [8]. Pada gambar 3 menunjukkan sebuah rangkaian sederhana dari konverter Zeta, yang terdiri dari sebuah kapasitor input, kapasitor output, induktor gandeng, kapasitor *coupling*, MOSFET, dan diode.



Gambar 3. Rangkaian konverter Zeta

Adapun parameter untuk menentukan nilai komponen pada konverter Zeta seperti yang terlihat pada tabel 1. Setelah itu dilakukan perhitungan dengan persamaan yang ditunjukkan pada persamaan (1) hingga (8)

Tabel 1. Parameter Konverter Zeta

Parameter	Simbol	Nilai
Tegangan input	V_{IN}	17,8 V
Tegangan output	V_{OUT}	14,4 V

Frekuensi pensaklaran	F_{SW}	40 kHz
Efisiensi	η	80 %
Arus input	I_{IN}	5,65 A
Arus output	I_{OUT}	5 A
Riak arus input	rl_1	10 %
Riak arus output	rl_2	10 %
Riak tegangan	rV_{OUT}	0,1 %

$$D \text{ zeta} = \frac{V_{out}}{V_{out}+V_{in}} \quad (1)$$

$$\Delta I_{L(pp)} = K \times I_{out} \times \frac{D}{1-D} \quad (2)$$

$$L_{1a} = L_{1b} = \frac{1}{2} \times \frac{V_{in} \times D}{\Delta I_{L(pp)} \times f_{sw}} \quad (3)$$

$$I_{L_{1a}(pk)} = I_{in} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (4)$$

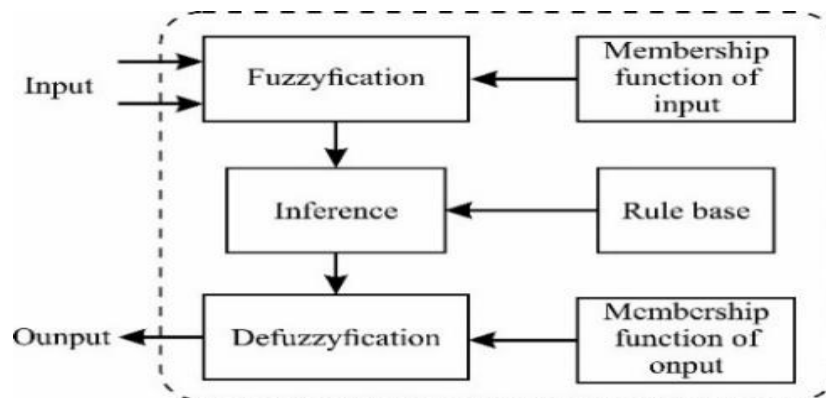
$$I_{L_{1b}(pk)} = I_{out} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (5)$$

$$C_{out(min)} = \frac{D}{8 \times \Delta V_{C_{out}} \times f_{sw}} \quad (6)$$

$$C_{in(min)} = \frac{D \times I_{out}}{\Delta V_{C_{in}} \times V_{in} \times f_{sw}} \quad (7)$$

$$C_c = \frac{D \times I_{out}}{\Delta V_{C_c} \times V_{out} \times f_{sw}} \quad (8)$$

A. Fuzzy Logic



Gambar 4. Blok diagram fuzzy

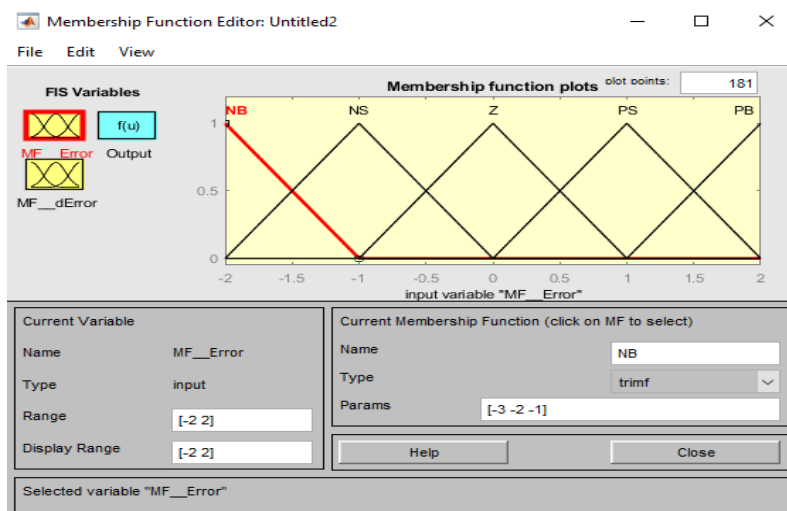
Pada perancangan fuzzy terdapat beberapa tahap yaitu *fuzzification*, *inference*, *defuzzification*. Secara umum bagian dari fuzzy ditunjukkan pada gambar 3 Pada mode MPPT, masukan algoritma fuzzy berupa *E (error)* dan ΔE (*delta error*). Nilai *error* diperoleh dari pembagian antara perbedaan daya dengan perbedaan tegangan $\Delta P/\Delta V$, yang mana ΔP adalah selisih antara daya saat ini dengan daya sebelumnya, dan ΔV adalah selisih antara tegangan saat ini dengan tegangan sebelumnya. Dan nilai *delta error* diperoleh dari selisih antara nilai *error* saat ini dengan *error* sebelumnya.

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (9)$$

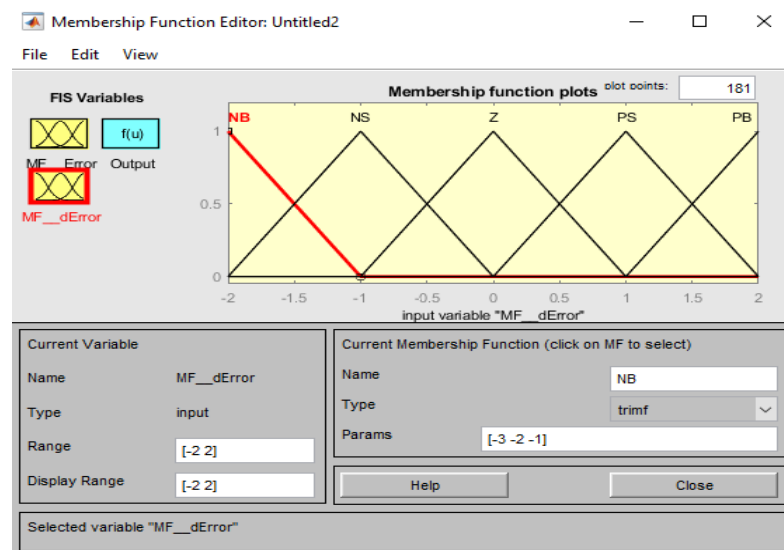
$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (10)$$

Pada persamaan 9 dimana $E(k)$ adalah nilai Error dan (k) adalah sampling time, $E(k-1)$ adalah nilai Error dengan $(k-1)$ adalah sampling time, dan pada persamaan 10 $\Delta E(k)$ sebagai perubahan nilai Error, dari nilai daya (P) dan tegangan (V).

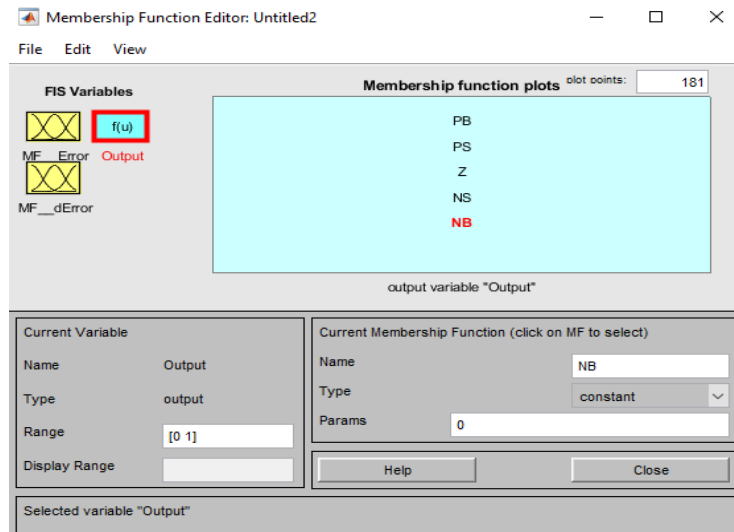
1) *Fuzzifikasi*: Proses untuk memetakan nilai masukan sistem kedalam fungsi keanggotaan untuk menentukan resultan nilai kebenaran untuk setiap label. Fungsi keanggotaan *input* dan *output* pada sistem menggunakan segitiga *full* simetris dan trapesium. Fungsi keanggotaan input terdiri dari dua bagian yaitu variabel *input error* (E), variabel *input delta error* ΔE , dan fungsi keanggotaan *output* terdiri dari variabel *output duty cycle*.



Gambar 5. Membership function error



Gambar 6. Membership function delta error



Gambar 7. Membership function output

2) *Inference*: Pada tahap ini adalah proses untuk menentukan nilai parameter dari *rule base* (nilai kebenaran). *Rule base* digunakan untuk menentukan aksi kontrol yang diinginkan sesuai dengan *plant* yang direncanakan. Pada tabel 2 merupakan aturan *rule base* logika fuzzy pada MPPT.

Tabel 2. Rule Base Fuzzy

E \ dE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Z	Z	PB	PB	PB
NS	Z	Z	PS	PS	PS
Z	PS	Z	Z	Z	NS
PS	NS	NS	NS	Z	Z
PB	NB	NB	NB	Z	Z

3) *Defuzzifikasi*: Proses untuk mengubah *output* fuzzy menjadi *crisp value* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. *Input* dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan - aturan fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Pada tahap defuzzifikasi ini menggunakan metode *weight average*, pada metode ini mengambil nilai rata - rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan, seperti pada persamaan (11).

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^m x1}{m} \quad (11)$$

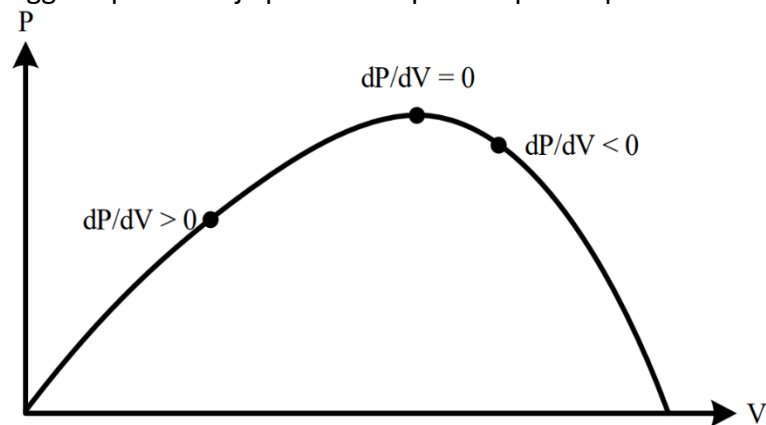
Dimana :

x^* = Nilai crisp

$x1$ = Derajat keanggotaan dari x^*

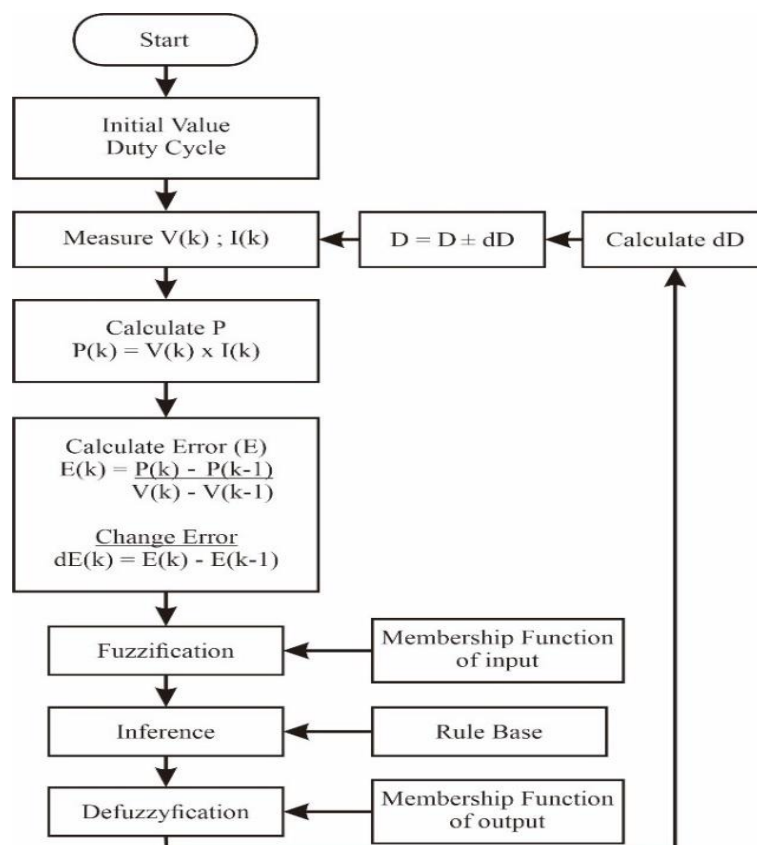
B. Maximum Power Point Tracking Fuzzy Logic

Prinsip kerja dari MPPT adalah dengan mengubah titik operasi pada kurva karakteristik I-V dari modul panel surya dengan menaikkan dan menurunkan tegangan kerja modul photovoltaic sehingga dapat bekerja pada titik operasi optimal pada kurva karakteristik I-V.



Gambar 8. Prinsip kerja MPPT fuzzy

Pada gambar 8 dapat dijelaskan, apabila tegangan (V_{pv}) jatuh pada daerah sebelah kiri tegangan maksimum (V_{mpp}) atau ($V_{pv} < V_{mpp}$), maka (V_{pv}) akan dinaikkan sampai mencapai (V_{mpp}), begitu juga sebaliknya apabila (V_{pv}) berada disebelah kanan tegangan maksimum (V_{mpp}) atau ($V_{pv} > V_{mpp}$), maka (V_{pv}) akan diturunkan sampai mencapai (V_{mpp}). Setelah mencapai (V_{mpp}), secara otomatis daya keluaran juga akan maksimal (P_{mpp}), yang bertugas untuk menaikkan dan menurunkan tegangan adalah DC-DC *converter* dimana dalam hal ini adalah konverter Zeta.



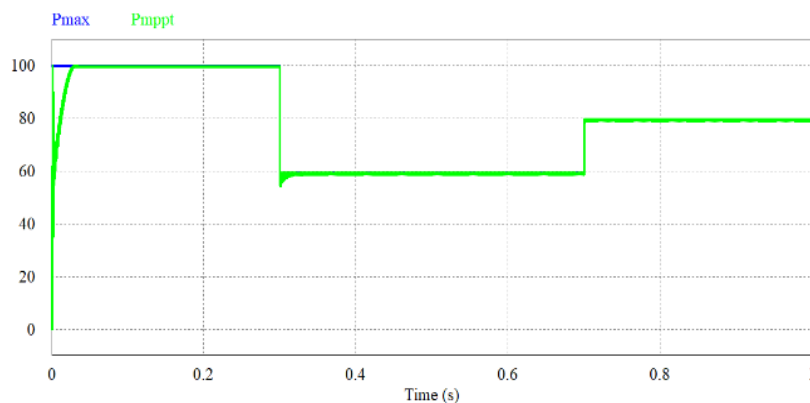
Gambar 9. Flowchart MPPT fuzzy

Terlihat pada gambar 9 adalah *flowchart* MPPT Fuzzy untuk mengontrol nilai *duty cycle* pada sistem. Inisialisasi *duty cycle* awal pada sistem merupakan masukan dari algoritma fuzzy. Kemudian dilakukan pengukuran oleh sensor tegangan *input* dan sensor arus *input*. Kemudian dikalkulasikan menjadi $P(k)$ dari nilai $V(k)$ dan $I(k)$. Variabel masukan pada algoritma fuzzy adalah *error* dan *delta error*, dimana *error* didapatkan dari persamaan $\Delta P/\Delta V$ kemudian *delta error* merupakan selisih dari *error* sebelumnya. Nilai *error* dan *delta error* berikut diolah menjadi *Membership function*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simulasi MPPT Fuzzy dengan Software PSIM

Software PSIM berfungsi melakukan uji simulasi algoritma fuzzy pada sistem MPPT. Simulasi dilakukan dalam kondisi iradiasi yang berubah-ubah (1000 W/m², 600 W/m², dan 800W/m²) dengan temperatur konstan (25°C).



Gambar 10. Daya keluaran MPPT fuzzy terhadap daya maksimal

3.2. Pengujian Hardware Konverter Zeta

Pengujian konverter Zeta bertujuan untuk mendapatkan data fungsi konverter pada setiap *duty cycle*. Pengambilan data fungsional bertujuan untuk melihat apakah kinerja konverter dapat dioperasikan sesuai teori. Secara teoritis, jika konverter dioperasikan dengan *duty cycle* kurang dari 50% akan menurunkan tegangan (*buck mode*). Jika konverter dioperasikan dengan *duty cycle* lebih tinggi dari 50%, tegangan masukan akan dinaikkan (*boost mode*).

Tabel 3. Hasil Pengujian Hardware Konverter Zeta

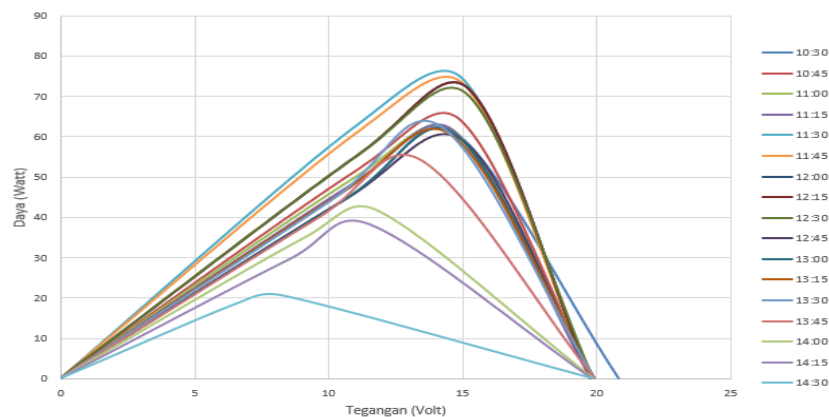
Duty cycle (%)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Eff (%)
20%	13	2,28	0,11	0,42	1,43	0,96	67%
	14	2,47	0,12	0,46	1,68	1,14	68%
	15	2,71	0,13	0,49	1,95	1,33	68%
30%	13	3,93	0,29	0,69	3,77	2,71	72%
	14	4,38	0,33	0,78	4,62	3,42	74%
	15	4,75	0,35	0,85	5,25	4,04	77%
40%	13	6,47	0,74	1,16	9,62	7,51	78%
	14	7,2	0,81	1,27	11,34	9,14	81%
	15	7,84	0,89	1,37	13,35	10,74	80%
50%	13	9,8	1,67	1,79	21,71	17,542	81%

60%	14	10,96	1,86	1,96	26,04	21,48	82%
	15	11,75	2	2,08	30	24,44	81%
	13	14,17	3,6	2,54	46,8	35,99	77%
	14	15,18	3,79	2,63	53,06	39,92	75%
	15	16,14	4,17	2,87	62,55	46,32	74%

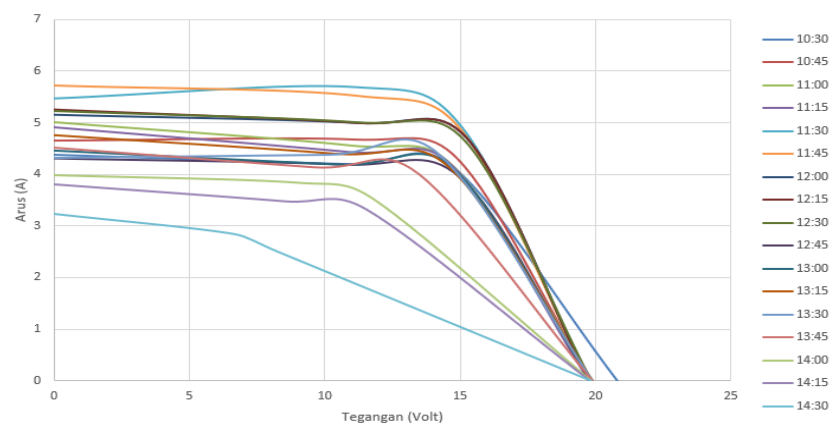
Dari tabel, terlihat bahwa konverter Zeta telah dapat bekerja menurunkan dan menaikkan tegangan dengan baik. Maka dari data tersebut dapat dikatakan bahwa *zeta converter* dapat bekerja secara fungsional dengan efisiensi rata – rata 75.67%.

3.3. Pengujian Karakteristik Panel Surya

Untuk mengetahui kemampuan panel surya dalam menghasilkan daya yang maksimal maka dilakukan pengujian karakteristik panel surya dengan cara memberikan beban maksimal pada panel surya, sehingga daya yang dihasilkan pada panel surya akan mengambil titik operasi I-V secara maksimal.



Gambar 11. Kurva karakteristik daya terhadap tegangan (P-V)



Gambar 12. Kurva karakteristik arus terhadap tegangan (I-V)

Gambar 11 dan gambar 12 merupakan kurva hasil pengujian karakteristik panel surya 100WP. Pada pengujian panel surya tersebut dilakukan pengambilan data dengan perbedaan waktu setiap 15 menit dimulai dari pukul 10:30 hingga pukul 14:15. Daya tertinggi yang dapat dihasilkan oleh panel surya adalah 74.07Watt yaitu pada pukul 11:30. Kemudian dari pukul

13:45 daya yang dihasilkan mulai turun hingga 54.06 Watt. Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa semakin bertambahnya waktu kurva yang dihasilkan semakin menjauh dari nominal hal tersebut dikaitkan karena perubahan intensitas cahaya dan suhu yang diterima oleh panel surya. Pengujian karakteristik panel surya tersebut dilakukan dengan mengabaikan iradiasi dan suhu pada panel surya.

3.4. Pengujian Hardware MPPT Fuzzy dengan Beban Resistor Variabel

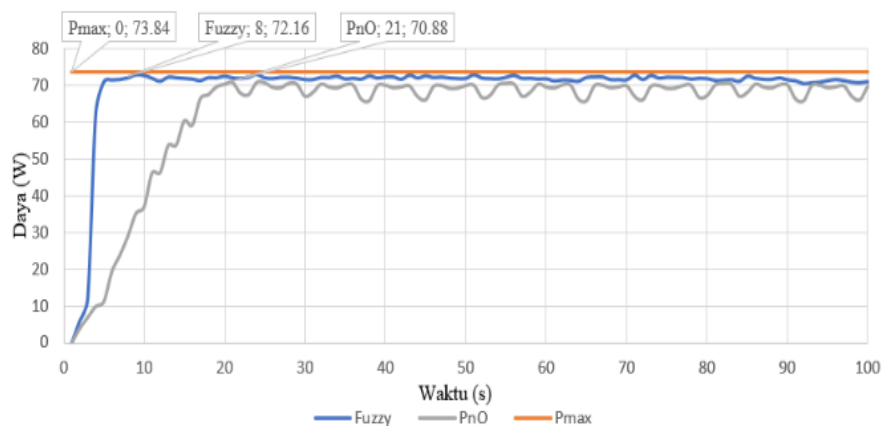
MPPT yang sudah dirancang menggunakan konverter Zeta dengan kontrol fuzzy logic. Untuk parameter pada konverter Zeta terdapat pada tabel 1. Kemudian untuk fuzzy logic menggunakan tipe sugeno dengan rule 5x5.



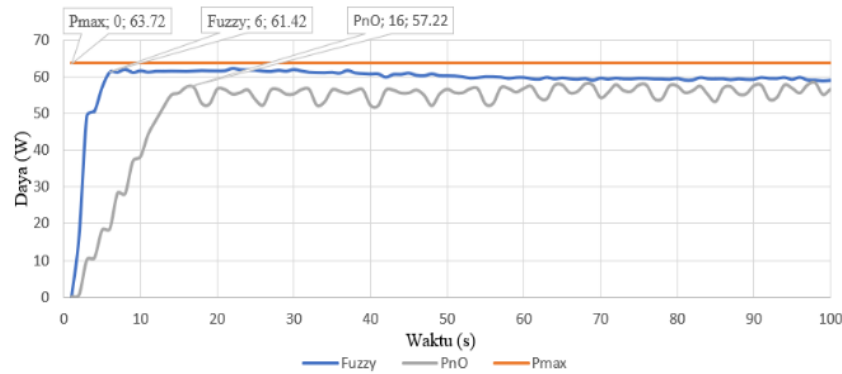
Gambar 13. Proses pengujian *hardware* MPPT dengan beban resistor variable

Dilakukan pengujian integrasi sistem dengan beban resistor variabel dengan variasi kondisi waktu karena tidak ada UV intensity meter untuk mengukur tingkat iradiasi yang jatuh diatas panel surya. Sebagai pembandingan pada pengujian dengan beban resistor variable ini maka hasil pengujian MPPT fuzzy akan dibandingkan dengan pengujian MPPT P&O. Gambar 13 menunjukkan proses saat pengujian integrasi MPPT.

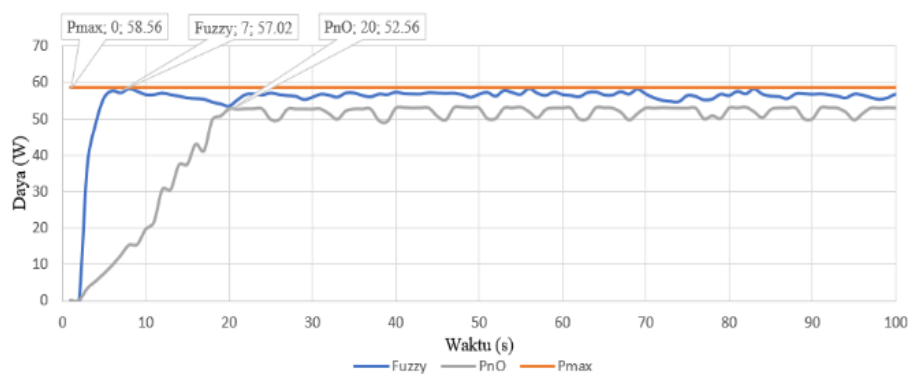
Gambar 14, gambar 11 dan gambar 12 menunjukkan grafik daya hasil pengujian MPPT terhadap 100 sample data. Setiap 1 sample data diambil setiap 1 detik. Data tersebut didapatkan dari *recording* data menggunakan RTC yang terkoneksi dengan serial *Bluetooth*.



Gambar 14. Grafik daya MPPT terhadap sampel data pada kondisi dengan beban resistor variabel (Pukul 12:00)



Gambar 15. Grafik daya MPPT terhadap sampel data pada kondisi dengan beban resistor variabel (Pukul 12:30)



Gambar 16. Grafik daya MPPT terhadap sampel data pada kondisi dengan beban resistor variabel (Pukul 13:00)

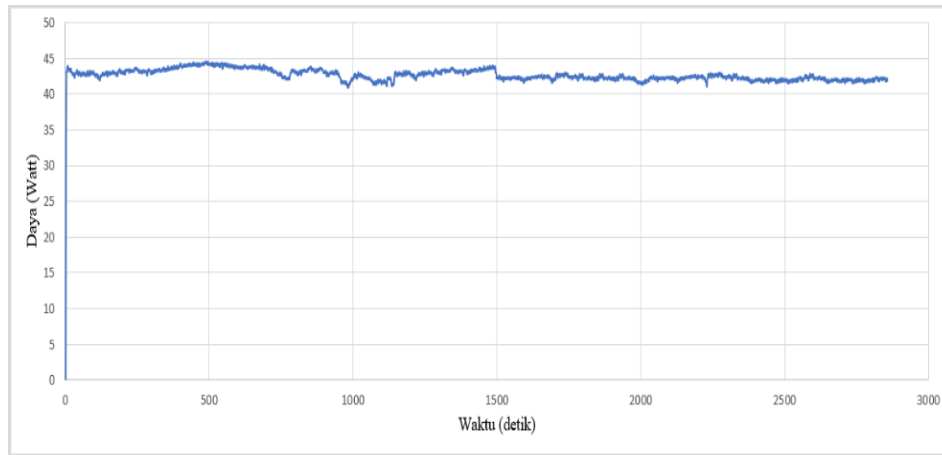
Kontrol Fuzzy dan P&O dapat bekerja dengan baik ditandai dengan tracking daya pada panel surya dapat mendekati puncak daya maksimum. Pada gambar 14 di pukul 12:00 untuk tracking speed Fuzzy selama 8 detik, P&O selama 21 detik. Untuk daya yang didapatkan Fuzzy dan P&O hampir sama yaitu sekitar 70W. Pada gambar 16 di pukul 12:30 untuk tracking speed Fuzzy selama 6 detik, P&O selama 15 detik. Untuk daya yang didapatkan Fuzzy dan P&O hampir sama yaitu sekitar 60W. Pada gambar 16 di pukul 13:00 untuk tracking speed Fuzzy selama 7 detik, P&O selama 20 detik. Untuk daya yang didapatkan Fuzzy dan P&O hampir sama yaitu sekitar 55W.

Tabel 4. Hasil Pengujian Hardware Mppt Fuzzy Dan Mppt P&O

Waktu	Pin (W)		Pmax PV (W)	Accuracy (%)		Time Tracking (s)	
	Fuzzy	P&O		Fuzzy	P&O	Fuzzy	P&O
12:00	72.16	70.88	73.84	97.72	95.99	8	21
12:30	61.42	57.22	63.72	96.39	89.79	6	16
13:00	57.02	52.56	58.56	97.37	89.75	7	20
Rata – rata				97.16	91.84	7	19

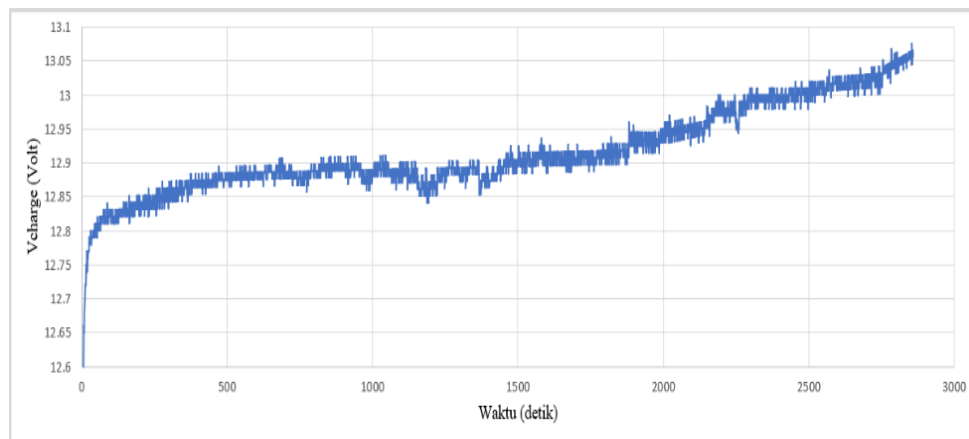
4. Pengujian Hardware MPPT Fuzzy dengan Beban Baterai

Pengujian integrasi selanjutnya adalah pengujian *hardware* MPPT dengan beban baterai 12V/26Ah. Baterai yang akan digunakan memiliki nilai *state of charge* sekitar 34.67% (11.88V). Pada pengujian berikut akan dilakukan pengisian baterai selama 45 menit dari pukul 12:00 WIB hingga 12:45 WIB.



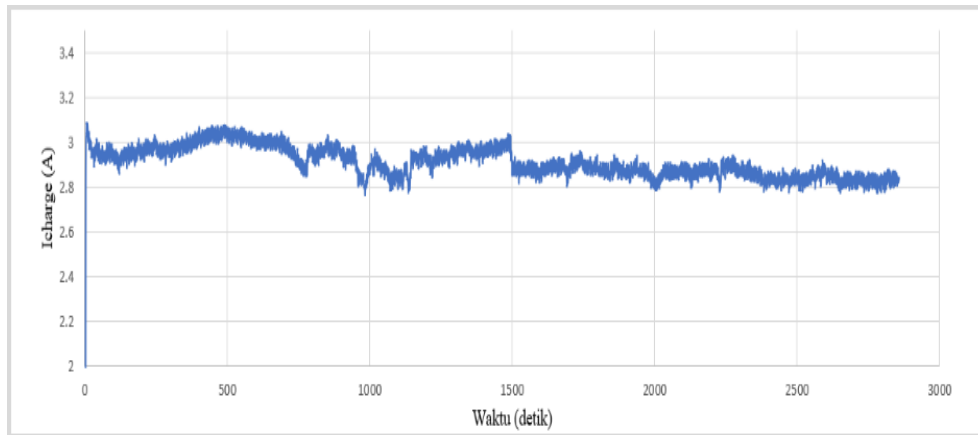
Gambar 17. Grafik daya input (MPPT) terhadap sampel data pada MPPT fuzzy dengan beban baterai

Terlihat pada gambar 17 tersebut MPPT fuzzy dapat tracking daya sekitar 45W, hal tersebut diakibatkan karena pada saat dilakukan pengujian kondisi langit sedikit berawan, sehingga kurangnya intensitas cahaya matahari yang jatuh pada panel surya mempengaruhi daya keluaran pada MPPT.



Gambar 18. Kurva tegangan *output (charging)*

Pada gambar 18 merupakan data keseluruhan dari tegangan *charging*. Dimana menampilkan kurva tegangan *charging* pengisian baterai yang dilakukan selama 45 menit. Dari kurva berikut terlihat bahwa tegangan *charging* bergerak naik selama proses *charging* berlangsung.



Gambar 19. Kurva arus output (charging)

Pada gambar 19 merupakan data keseluruhan dari arus *charging*. Dimana menampilkan kurva arus *charging* pengisian baterai yang dilakukan selama 45 menit. Dari kurva berikut terlihat bahwa arus *charging* bergerak turun selama proses charging berlangsung. Setelah dilakukan pengisian selama 45 menit kondisi state of charge baterai menjadi 52.85% (12.14Volt), sehingga setelah dilakukan pengisian selama 45 menit SOC baterai bertambah 18,18%.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan tahap perancangan dan pembuatan sistem serta dilanjutkan dengan pengujian dan analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Diantaranya adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pengujian, karakteristik daya keluaran dari panel surya dapat menghasilkan daya maksimal hingga $\pm 70\%$ dari rating daya yang tertulis pada name plate.
- Dari hasil pengujian konverter Zeta secara *hardware* telah dapat bekerja menurunkan (*buck*) dan menaikkan tegangan (*boost*) dengan baik. Sesuai dengan data dapat dikatakan bahwa konverter Zeta dapat bekerja secara fungsional dengan efisiensi rata – rata 75.67 %.
- Pada pengujian integrasi secara *hardware* menggunakan panel surya 100 WP dengan menggunakan beban resistor variabel pada kondisi waktu yang berbeda – beda, MPPT fuzzy dapat *tracking* daya lebih baik jika dibandingkan dengan MPPT P&O. Fuzzy mendapatkan rata – rata akurasi 97.16% dan P&O mendapatkan 91.84%.
- Pada pengujian integrasi secara *hardware* MPPT fuzzy dengan menggunakan beban baterai, MPPT fuzzy dapat melakukan proses *charging* dengan kenaikan SOC 18.18%, dimana proses charging dilakukan selama 45 menit.

REFERENSI

- [1] H. Suryoatmojo, F. A. Hazmi, D. C. Riawan and R. Mardiyanto, "Desain MPPT Berbasis Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Terbang Tanpa Awak Bertenaga Surya," *APPROACH, Aviation Technology Journal*, vol 1, no. 2, pp. 40-48, 2017.
- [2] F. A. Samman, A. A. Rahmansyah, and Syarifuddin, "Simulasi Pengujian Kinerja Algoritma Pencarian Titik Daya Maksimum," *Prossiding SNTEK*, pp. 43-47, 2016.
- [3] S. Utami, "Implementasi Algoritma Perturb and Observe untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT," *JURNAL INOFTEL*, vol. 9, no. 1, pp. 92-99, 2017.

- [4] B. Azmi, J. A. Hamogan, E. B. Prasepvianto, and H. Seputra, "Review Comparison Maximum Power Point Tracker (MPPT) Technique for Charging Systems Using Solar Cells," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 16, no. 2, pp. 111-122, 2018
- [5] Mrs. J. J. Joseph, Dr. F. T. Josh, R. Lamare, and B. V. Mathew, "Analysis of Power Electronic Converters for ElectricVehicle Applications," *International Conference on Physics and Photonics Processes in Nano Sciences*, pp. 1-10, 2019.
- [6] E. Vuthchhay, and C. Bunlaksananusorn, "Dynamic Modeling of a Zeta Converter with StateSpace Averaging Technique", *Proceedings of ECTI-CON*, pp. 969-972, 2008.
- [7] J. Falin, "*Designing DC/DC Converters based on ZETA Topology*," Texas Instruments Incorporated, 2010.
- [8] Fitriyah, M. Z. Efendi, and F. D. Murdianto, "*Modeling and Simulation of MPPT ZETA Converter Using Human Psychology Optimization Algorithm Under Partial Shading Condition*," *International Electronics Symposium (IES)*, Surabaya, Indonesia, pp. 14-20, 2020.
- [9] C. R. Algarin, J. T. Giraldo, and O. R. Alvarez, "Fuzzy Logic Based MPPT Controller for a PV System," *Energies*, pp. 1-18, 2017.
- [10] L. Vignesh, and G. S. Kumar, "PV Fed Zeta Converter," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 7, no. 2, pp. 1-4, 2019.