

# Peningkatan Kinerja MPPT Menggunakan Kontrol PWM Fuzzy dengan Tuning PID

Adhi Kusmantoro dan Margono  
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika Universitas PGRI Semarang  
Jl. Sidodadi Timur No. 24 – Dr. Cipto, Semarang 50232  
e-mail: adhitekNIK@gmail.com

**Abstrak**—Pemanfaatan sinar matahari menggunakan panel surya sebagai pembangkit listrik mulai dikembangkan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Tujuan penelitian ini adalah merancang model MPPT dengan sumber PV. Pengendali PID digunakan untuk meningkatkan kinerja MPPT dalam mengatur *boost converter*, sedangkan nilai PID diatur dengan *fuzzy logic*. Metode penelitian meliputi rancangan simulasi, *hardware*, perhitungan kapasitas beban, dan rancangan *fuzzy logic*. Uji coba dilakukan menggunakan beban listrik yang ada dalam rumah tinggal. Hasil penelitian sebelumnya, dengan menggunakan kontrol PID dihasilkan efisiensi 88,77%. Hasil penelitian dengan menggunakan kontrol PID yang diatur dengan *fuzzy logic* menghasilkan efisiensi 95,79%. Metode ini juga mampu memperbaiki keluaran tegangan *boost converter*, sehingga dengan metode ini tegangan keluaran *boost converter* lebih bagus jika dibandingkan dengan metode lain.

**Kata kunci:** *boost converter, kontrol pid, kontrol fuzzy logic, photovoltaic*

**Abstract**—Utilization of sunlight using solar panels as power plants began to be developed to reduce the use of fossil fuels. The purpose of this study is to design an MPPT model with PV sources. The PID controller is used to improve MPPT performance in regulating the boost converter, while the PID value is set with fuzzy logic. Research methods include simulation design, hardware, load capacity calculation, and fuzzy logic design. The trial was conducted using an electric load in the house. The results of previous studies, using PID control generated 88.77% efficiency. The results of the study using PID control that is regulated by fuzzy logic produces 95.79% efficiency. This method is also able to improve the output of the boost converter voltage, so that with this method the boost converter output voltage is better when compared to other methods.

**Keywords:** *boost converter, pid control, fuzzy logic controller, photovoltaic*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi saat ini sebagai penggerak kehidupan semakin lama semakin meningkat. Hal ini sejalan dengan lonjakan jumlah populasi manusia, sehingga dibutuhkan suatu sumber energi terbarukan [1]. Energi surya dinilai tepat untuk menjadi salah satu sumber energi listrik alternatif yang dapat digunakan. Sistem pembangkit listrik menggunakan panel surya hanya efektif digunakan pada siang hari. [2].

Setiap modul memiliki titik operasi optimalnya masing-masing yang dikenal dengan *Maximum Power Point* (MPP) [3]. Karakteristik *Maximum Power Point* ini akan berubah sesuai dengan sinar matahari dan temperatur [4]. MPPT merupakan sistem elektronis yang secara keseluruhan mengubah-ubah titik operasi elektronis modul sel surya sehingga dapat mengirim daya maksimal yang tersedia [5]. Salah satu keuntungan penggunaan MPPT adalah cepat terpenuhinya kondisi *equilibrium photovoltaic* untuk kondisi yang diperlukan oleh beban [6].

Beberapa metode kontrol pada MPPT untuk

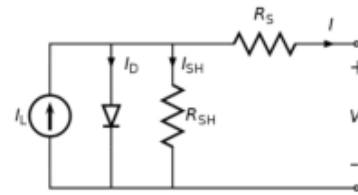
meningkatkan daya keluaran konverter telah dilakukan. Desain *maximum power point tracking* (MPPT) pada panel surya menggunakan metode *sliding mode control*, terjadi kenaikan rata-rata nilai tegangan keluaran setelah pemasangan sistem MPPT saat kondisi iradiasi matahari dan temperatur yang berubah-ubah, dan juga dapat mempertahankan tegangan keluaran dari modul panel surya disekitar nilai maksimum yang diinginkan [7]. Algoritma penjejak *perturb and observe* (P&O) juga telah digunakan. Sebuah algoritma yang mencari  $dP/dV$  yang bernilai nol sebagai tanda puncak suatu kurva [8]. Efisiensi MPPT yang dicapai adalah 86% [9]. Algoritma MPPT pada panel surya juga telah dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MPPT dengan *fuzzy logic* dapat menghasilkan daya maksimum daripada *direct-coupled*. Efisiensi yang dicapai MPPT menggunakan *fuzzy logic* adalah 74,25743 % [10]. Sedangkan implementasi *maximum power point tracking* pada *photovoltaic* berbasis P&O-Fuzzy juga mampu meningkatkan efisiensi daya listrik dari PV. Hasil penelitian memperlihatkan MPPT menggunakan algoritma kendali P&O-Fuzzy memiliki efisiensi 89%

[11]. Dalam sebuah penelitian MPPT menggunakan kontrol PID menghasilkan efisiensi keluaran daya panel surya sebesar 88,77% [12]. Demikian pula penelitian pengoptimalan daya menggunakan metode kontrol *Self-Tuning* PID Dengan JST Jenis *Perceptron* menghasilkan kenaikan energi sebesar 4,981% [13].

Terlihat bahwa besarnya efisiensi daya listrik yang dihasilkan masih di bawah 90%, sehingga perlu dilakukan peningkatan metode kontrol baru agar terjadi peningkatan efisiensi. Berdasarkan permasalahan di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi keluaran daya panel surya di atas 90%. Hal ini dilakukan dengan merancang MPPT (*Maximum power point tracking*) dengan sumber PV, menggunakan kontrol PID yang ditala dengan *fuzzy logic*, yang berfungsi untuk mengatur nilai PID. Jadi metode baru sistem hybrid kontrol Fuzzy-PID digunakan untuk meningkatkan kinerja MPPT.

II. STUDI PUSTAKA

Sistem *photovoltaic* yang menggunakan energi surya menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan. Kunci dasar solar cell adalah nilai efisiensi konversi energinya yang merupakan kemampuan sebuah konverter untuk mengekstraksi energi dan mendistribusikannya kepada beban. Peningkatan nilai efisiensi ini akan mempengaruhi daya yang dibangkitkan oleh sistem dimana daya akan naik. Hal ini mempunyai efek pada biaya yang harus dikeluarkan yang akan lebih murah untuk tiap KWh energi yang dihasilkan. Efisiensi sendiri dipengaruhi oleh tiga faktor: efisiensi solar panel (8%–15%), efisiensi *inverter* (95%–98%) dan efisiensi *Maximum Power Point Tracking* ( $\pm 98\%$ ) [14]. Peningkatan efisiensi solar panel dan *inverter* tidak biasa dilakukan disebabkan ketergantungan terhadap teknologi yang tersedia dan memerlukan komponen dengan spesifikasi yang lebih tinggi yang akan menaikkan biaya instalasi. Sementara itu improvisasi efisiensi melalui *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan algoritma pada kontrol yang digunakan lebih mudah dilakukan, tidak mahal serta dapat diaplikasikan pada pembangkitan dengan solar cell yang sudah ada tanpa merubah sistem. Peningkatan nilai efisiensi ini merujuk pada kurva karakteristik arus-tegangan sel surya yang tergantung pada nilai radiasi dan temperatur yang diterimanya [15]. Setiap modul memiliki titik operasi optimalnya masing-masing yang dikenal dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Karakteristik *Maximum Power Point Tracking* ini akan berubah sesuai dengan sinar matahari dan temperatur [9]. Ketergantungan terhadap cuaca menjadikan MPPT tidak mudah untuk menjaga titik operasi tetap dalam kondisi maksimal dengan mengacu pada kurva karakteristik tegangan-daya yang juga bervariasi. Untuk menyelesaikan permasalahan ini, beberapa algoritma MPPT diajukan sebagaimana yang telah di-review oleh Jaiswal dan Mahor [16]. Kesadaran untuk menggunakan sumber energi baru terbarukan menjadikan algoritma untuk MPPT ini menjadi sangat penting.



Gambar 1. Rangkaian ekivalen sel surya

Model matematik dikembangkan untuk menirukan sel surya. Gambar 1 menunjukkan rangkaian persamaan sel surya, dimana I dan V adalah arus dan tegangan sel surya, kemudian,  $I_L$  adalah *cell's photocurrent*.  $R_{sh}$  dan  $R_s$  adalah tahanan *shunt* dan tahanan seri dari sel surya.

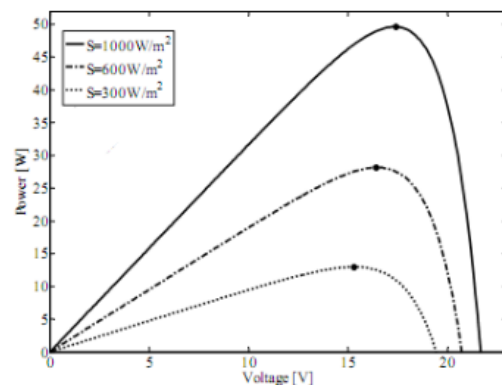
Persamaan dari rangkaian ekivalen sel surya pada Gambar 1, dinyatakan dengan (1):

$$I = I_L - I_o \left( \exp \left[ \frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right] - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (1)$$

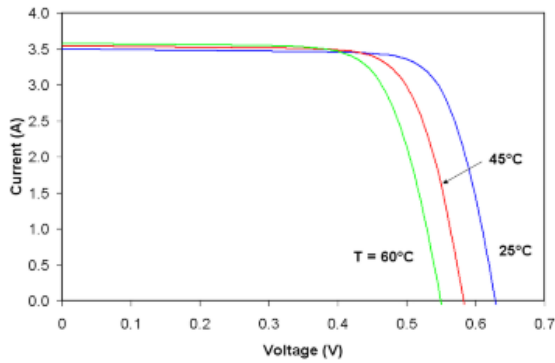
Dimana  $I_o$  adalah arus *reverse* saturasi (Ampere), n faktor ideal dioda, q adalah muatan elektron ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  C), K konstanta *boltzman* ( $1,3806 \cdot 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>), dan T adalah temperatur solar cell (°K)

Kurva ini menunjukkan sangat jelas bahwa karakteristik keluaran sel surya adalah non-linier dan sangat dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari, temperatur dan kondisi pembebanan [17]. Untuk mendekati kinerja dari panel surya, suatu modul matematis dikembangkan untuk menirukan karakteristik dari panel surya yang digunakan [18].

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) merupakan sebuah metode untuk menentukan titik dimana daya maksimum dihasilkan oleh panel surya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, salah satu keuntungan penggunaan MPPT adalah cepat terpenuhinya kondisi *equilibrium photovoltaic* untuk kondisi yang diperlukan oleh beban dan yang dapat dipenuhi panel surya. MPPT memerlukan dua komponen pendukung dalam pengoperasiannya: arus input (I) dan tegangan input (V) seperti tampak pada Gambar 2. Dua komponen ini dikombinasikan untuk mendapatkan nilai daya P seperti dengan persamaan  $P = V \times I$  [19]. Dalam kondisi suhu dan radiasi berbeda, diperoleh nilai MPPT yang berbeda. Metode yang tepat diperlukan untuk memperoleh nilai



Gambar 2. Karakteristik P-V untuk level radiasi yang berbeda. Tiap titik mewakili MPP dari masing-masing kurva



Gambar 3. Karakteristik I-V pada temperatur permukaan sel surya yang berbeda

daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya seperti pada Gambar 3 [20].

*Maximum Power Point Tracking* atau yang biasa disingkat MPPT, adalah sebuah sistem elektronis yang mengoperasikan modul *photovoltaic* (PV) atau modul sel surya agar dapat menghasilkan daya maksimal yang bisa diproduksi oleh modul sel surya [21]. MPPT bukan merupakan sistem *tracking* mekanis yang secara fisik menggerakkan modul agar mengarah langsung ke matahari. MPPT merupakan sistem elektronis yang secara keseluruhan mengubah-ubah titik operasi elektronis modul sel surya sehingga dapat mengirim daya maksimal yang tersedia. Dari daya tambahan yang terkumpul yang berasal dari modul sel surya, sehingga arus pengisian baterai dapat ditingkatkan. MPPT dapat juga dihubungkan dengan sistem *tracking* mekanis, tetapi kedua sistem ini benar-benar sangat berbeda [22], [23].

### III. METODE

Sistem MPPT dalam penelitian ini terdiri atas panel surya (*photovoltaic*), *boost converter*, baterai, beban resistif dan induktif, dan *controller* PID. Sedangkan tahapan dalam penelitian ini sebagai berikut:

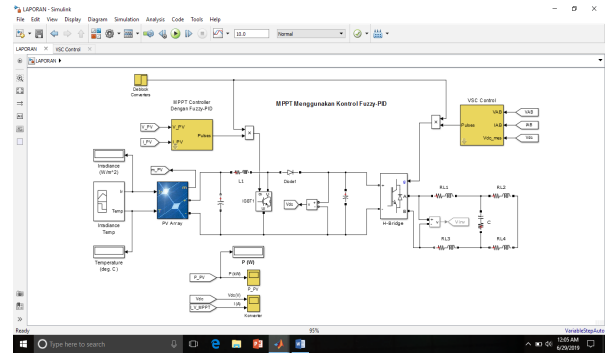
#### A. Rancangan Simulasi

Untuk panel surya dalam simulasi ini (Gambar 4) menggunakan tipe TSM-230PD05.10. Jumlah PV yang digunakan dua panel surya yang terhubung secara seri. Untuk mengetahui kinerja PV dilakukan dengan perubahan *irradiance* energi matahari dan suhu (*Irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup>, suhu 35 °C dan *Irradiance* 500 W/m<sup>2</sup>, suhu 35 °C).

#### B. Rancangan Hardware

Untuk rancangan *hardware* terdapat dua jenis *hardware* yang digunakan untuk menaikkan tegangan keluaran PV. *Hardware* yang digunakan adalah *hardware boost converter* (Gambar 5) dan kontrol MPPT menggunakan *Fuzzy-PID* BTC-8300 (Gambar 6).

#### C. Perhitungan Kapasitas Beban



Gambar 4. Simulink MPPT Fuzzy-PID

Dalam pembahasan ini sesuai dengan kebutuhan daya listrik rumah tinggal sebesar 1300 Watt atau konsumsi energi per-jam sebesar 1,3 KWh. Beban listrik ini akan menyala pada jam 08.00 s/d 18.00, artinya beban listrik ini akan mengkonsumsi tenaga listrik selama 10 jam. Maka total energi yang dikonsumsi perharinya adalah 1,3 KWh. Untuk sistem penyimpanan energi listrik digunakan empat buah baterai 12 Volt dengan kapasitas masing-masing 60 Ah.

#### D. Rancangan Fuzzy Logic

Dalam rancangan ini *fuzzy logic* mempunyai dua masukan, yaitu perubahan tegangan dan perubahan radiasi matahari. Untuk keluarannya adalah *duty cycle* berupa PWM dan digunakan untuk mengatur *boost converter*. *Fuzzy rule based* (Tabel 1) yang digunakan tipe *mamdani*. Untuk mencapai nilai MPPT, perubahan tegangan yang terletak disebelah kiri atau kanan MPPT berfungsi untuk menentukan besarnya tegangan, sedangkan perubahan radiasi berfungsi untuk mengetahui perubahan tegangan.

Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan pada



Gambar 5. Boost converter

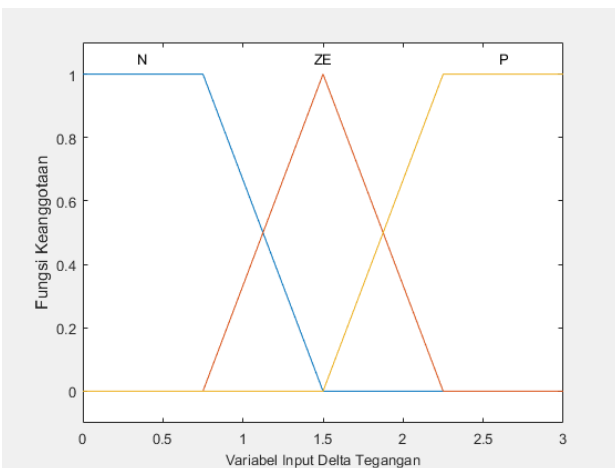


Gambar 6. Fuzzy-PID BTC 830

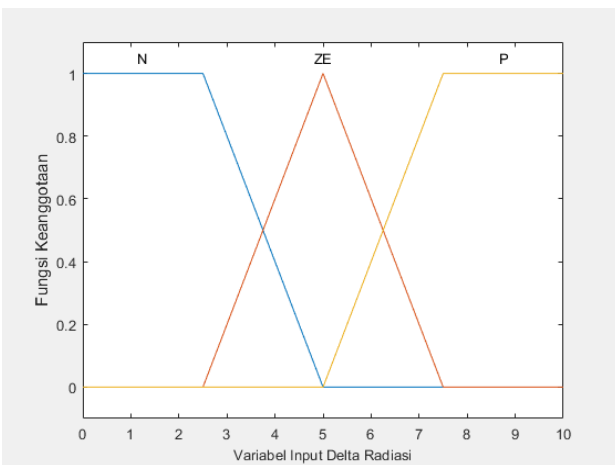
Tabel 1. Rule fuzzy

		$\Delta r/\Delta V$		
		N	ZE	P
N	N	N	ZE	P
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
P	P	P	ZE	N

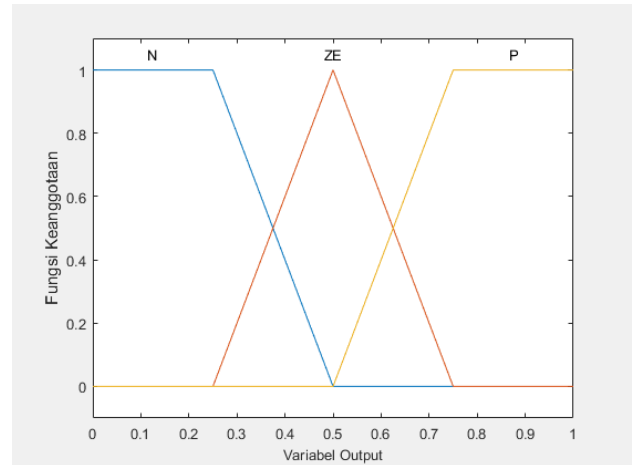
masuk dan keluaran berjumlah tiga buah fungsi keanggotaan, yaitu fungsi keanggotaan trapezium dan segitiga. Pada masukan delta tegangan ( $\Delta V$ ) (Gambar 7) mempunyai rentang nilai mulai dari 0 hingga 3 dengan fungsi keanggotaan antara lain Negatif (N), Zero (ZE), dan Positif (P). Sedangkan untuk delta radiasi ( $\Delta r$ ) mempunyai rentang nilai mulai dari 0 hingga 10 dengan nama fungsi keanggotaan sama dengan variabel delta tegangan (Gambar 8). Sedangkan keluaran *fuzzy* berupa variabel pengaturan nilai kontrol PID. Variabel keluaran PID berupa *duty cycle* yang mempunyai rentang nilai 0 hingga 1. Fungsi keanggotaan keluaran terlihat pada Gambar 9. Keluaran ini berupa gelombang PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan besarnya amplitudo antara 0 hingga 5 volt. *Flowchart* penelitian MPPT menggunakan



Gambar 7. Fungsi keanggotaan input perubahan tegangan



Gambar 8. Fungsi keanggotaan input perubahan radiasi matahari



Gambar 9. Fungsi keanggotaan output PID

kontrol *Fuzzy*-PID terlihat pada Gambar 10.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kendali MPPT yang dirancang terdiri dari *photovoltaic* (panel surya) 500 Wp sebanyak tiga buah, *boost converter* yang berfungsi menaikkan tegangan DC dari 24 V hingga 300 V, baterai 60 AH yang berfungsi untuk menyimpan energi, *inverter* yang berfungsi mengubah tegangan keluaran *boost converter* menjadi tegangan AC 220 V.

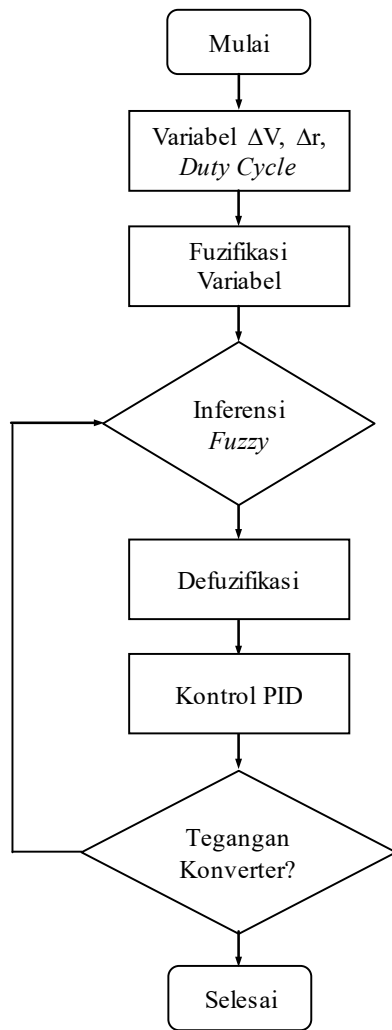
Beban yang digunakan dalam penelitian ini merupakan beban yang digunakan dalam rumah tinggal, yaitu beban lampu, beban induktif (beban pompa air, beban kipas angin, beban AC). Untuk pengujian *boost converter* terlihat pada Tabel 2.

Pada pengujian *duty cycle* PWM, nilai *self-tuning* PID yang di berikan, yaitu  $K_p = 110$ ,  $K_i = 54$ ,  $K_D = 78$  dengan nilai *duty cycle* 90% menghasilkan tegangan keluaran *boost converter* 299 V DC. Pengujian ini dilakukan pada siang hari jam 12.00.

Dari Tabel 3 dapat terlihat bahwa daya keluaran panel surya mampu menghasilkan efisiensi 95,79%. Nilai efisiensi yang dicapai cukup tinggi karena sistem yang digunakan merupakan panel surya yang siap digunakan untuk kebutuhan listrik cadangan pada rumah tinggal. Hasil efisiensi yang diperoleh lebih baik dari penelitian sebelumnya, dengan efisiensi daya keluaran panel surya di bawah 90%.

Tabel 2. Pengujian boost converter

Daya Beban (Watt)	Vin (V)	Vout (V)	Duty Cycle (%)
10	24	32	30
200	24	86	40
400	24	127	50
600	24	164	60
800	24	189	70
1000	24	238	80
1200	24	299	90



Gambar 10. Flowchart kontrol PID berbasis fuzzy logic

Selain mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan, maka juga diperlihatkan nilai peningkatan dan perbandingan kapasitas daya keluaran panel surya berdasarkan pada tabel 4. Daya keluaran panel surya dengan MPPT kontrol PID yang diberikan secara statik, dengan nilai  $K_p = 119$ ,  $K_i = 36$ ,  $K_d = 94$ . Daya rata-rata yang dihasilkan dengan kontrol PID adalah 919,57 watt, sedangkan daya rata-rata yang dihasilkan menggunakan *Fuzzy*-PID adalah 998,286 watt. Terjadi selisih daya rata-rata sebesar 78,72 watt dan peningkatan daya 7,9% menggunakan kontrol *Fuzzy*-PID. Dalam pengujian kontrol MPPT menggunakan panel surya

Tabel 3. Efisiensi daya keluaran

$P_{in}$ (Watt)	$P_{out}$ (Watt)	Efisiensi (%)
297	395	75.18
536	689	77.79
824	897	91.86
852	992	85.88
1114	1223	91.08
1215	1294	93.89
1435	1498	95.79

Tabel 4 Perbandingan daya keluaran *Photovoltaic*

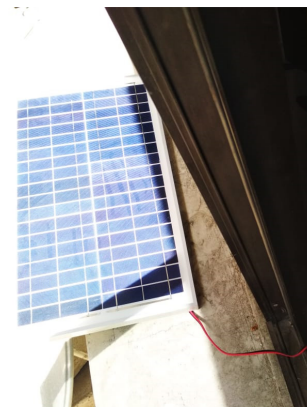
Daya MPPT dengan PID (watt)	Daya MPPT dengan <i>Fuzzy</i> -PID (watt)
307	395
610	689
814	897
913	992
1187	1223
1198	1294
1408	1498

(*photovoltaic*) terlihat pada Gambar 11 dan 12. Dalam gambar terlihat komponen atau perangkat yang digunakan untuk menghasilkan daya keluaran yang optimum.

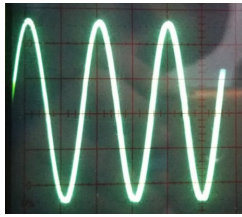
Dalam penelitian ini digunakan *inverter* 1500 watt sinusoidal dengan tipe YulongNE. *Inverter* yang digunakan merupakan *inverter* yang menghasilkan tegangan listrik AC satu fasa. *Inverter* yang digunakan dapat menghasilkan tegangan keluaran 220 V AC dengan bentuk gelombang sinusoidal (Gambar 13) dan besarnya tegangan ini sesuai dengan tegangan beban yang digunakan dalam rumah tinggal. Berdasarkan hasil simulasi, Gambar 14 dan 15 memperlihatkan daya dan tegangan keluaran dengan



Gambar 11. Pengujian sistem MPPT

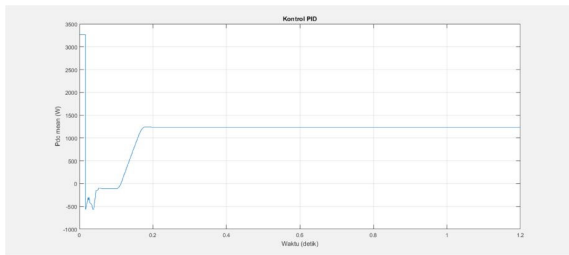


Gambar 12. Pengujian photovoltaic

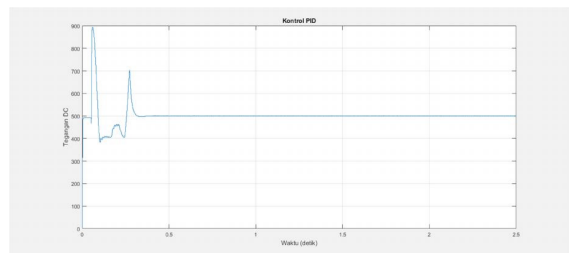


Gambar 13. Gelombang keluaran inverter

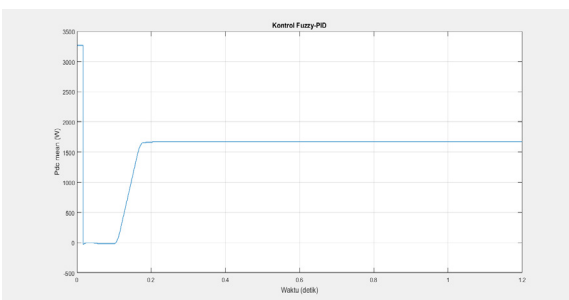
kontrol PID. Sedangkan pada Gambar 16 dan Gambar 17 memperlihatkan penggunaan *fuzzy logic* untuk menala nilai PID untuk menghasilkan tegangan dan daya keluaran panel surya yang lebih baik, jika hanya menggunakan kontrol PID.



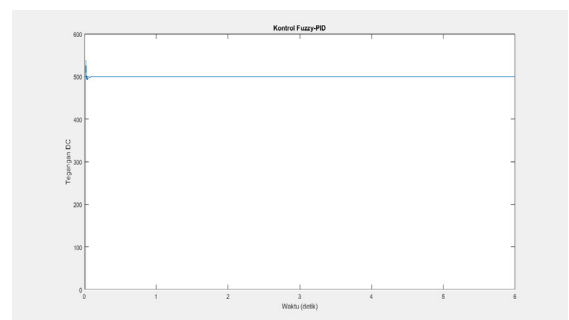
Gambar 14. Daya keluaran panel surya dengan kontrol PID



Gambar 15. Tegangan keluaran konverter dengan kontrol PID



Gambar 16. Daya keluaran panel surya dengan kontrol PID di-tuning fuzzy logic



Gambar 17. Tegangan keluaran konverter dengan kontrol PID di-tuning fuzzy logic

## V. KESIMPULAN

Penggunaan kontrol hibrid *Fuzzy*-PID menghasilkan peningkatan kinerja MPPT, sehingga efisiensi daya keluaran panel surya meningkat. Metode kontrol MPPT menggunakan *Fuzzy*-PID menghasilkan efisiensi maksimum yang diperoleh adalah 95,79%, lebih besar dari penelitian sebelumnya yang menggunakan kontrol PID, kontrol *Fuzzy* maupun kontrol lainnya. Berdasarkan data tabel dan gambar penggunaan kontrol *Fuzzy*-PID dapat mengoptimalkan daya keluaran panel surya. Selain itu juga terjadi peningkatan daya 7,9%. Metode yang telah digunakan sangat diperlukan untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya atau *boost converter*.

## REFERENSI

- [1] A.Kusmantoro, "Use Of Inverter Off Grid 2000 Watt For Household With Battery Storage Use Of Inverter Off Grid 2000 Watt For Household With Battery Storage," *Journal of Physics: Conference Series*, pp.1-7, 2019.
- [2] W.B. Pramono, D.A.R. Wati, M.V.T. Yadaka, "Simulasi Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya Menggunakan Simulink MATLAB," *Seminar Nasional ke – 9: Rekayasa Teknologi Industri dan Informatika*, Vol. 1, pp. 176–183, 2013.
- [3] C. Sharma, A. Jain, "Modeling of Buck Converter Models in MPPT using PID and FLC," *TELKOMNIKA*, Vol. 13, No. 4, pp.1270 – 1280, 2015.
- [4] C. S. Chin, Y. K. Chin, B. L. Chua, A. Kiring, and K. T. K. Teo, "Fuzzy logic based MPPT for pv array under partially shaded conditions," *2012 International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies Fuzzy*, 2013, pp. 133–138.
- [5] R. K. Pachauri and Y. K. Chauhan, "Fuzzy logic controlled MPPT assisted PV-FC power generation for motor driven water pumping system," *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science*, 2014, pp.1-6.
- [6] Z. Xiaoe, W. Jinmei, and L. Jinsong, "Simulation Research on the MPPT of the PV Cells Based on Fuzzy Control," *2013 Fourth International Conference On Intelligent System Design and Engineering Applications*, 2013, pp. 561–564.
- [7] A. Faizal and B. Setyaji, "Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, Vol. 14, No. 1, pp. 22–31, 2016.
- [8] M.F.Salam, S.I. Haryudo, "Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Panel Surya Menggunakan Perturb And Observe Sebagai Kontrol Buck-Boost Converter.," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol.06, No.01, 2017.
- [9] Sri Utami, Implementasi Algoritma *Perturb and Observe* untuk Mengoptimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT (Studi Kasus di Laboratorium Energi Baru Terbarukan di Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung)," *Jurnal Infotel*, Vol. 9, No. 1, pp. 92–99, 2017.
- [10] B.P.J. Putra, A.S. Aisjah, S. Arifin, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking pada Panel Photovoltaic Berbasis Logika Fuzzy di Buoy Weather Station," *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2, No. 2, pp. 209-304, 2013.
- [11] M. Effendy, N.A. Mardiyah, K. Hidayat, "Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy," *JNETI*, Vol. 6, No. 1, pp. 2–7, 2017.

- [12] A.N. Hidayanti, P.Handayani, I. Chandra, "Pemanfaatan Metode *Single Axis Tracker* dan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) PID untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran Panel Surya," *10<sup>th</sup> Industrial Research Workshop And National Seminar*, 2018, pp.149-155.
- [13] A.U. Azmy, Sumardi, M.A. Riyadi, "Sistem *Tracking* Panel Surya Untuk Pengoptimalan Daya Menggunakan Metode Kontrol *Self-Tuning* PID Dengan JST Jenis *Perceptron*," *Transmisi*, Vol.1, pp.35-41, 2015.
- [14] L. Piegari and R. Rizzo, "Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking," *Renewable Power Generation, IET*, vol. 4, no. 4, pp. 317-328, 2010.
- [15] Rayjansof Chairi. Fitria Hidayanti. Idris Kusuma, Perancangan Sistem Kendali Cascade pada Deaerator Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), *Jurnal Ilmiah GIGA*, Volume 18 (2). Pp.94-101, November 2015
- [16] P. Jaiswal and A.Mahor, "Review on MPPT Techniques in Solar Photovoltaic System," *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, Vol. 02, No. 07, pp. 245-252, July 2014.
- [17] R.T. Widodo, Rugianto, Asmuniv, dan P. Sejati, "Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb and Observe," *10<sup>th</sup> Industrial Electronics Seminar*, 2009, pp.1-4.
- [18] Selva S., "Modeling and Simulation of Incremental Conductance MPPT Algorithm for Photovoltaic Applications," *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 2013, Vol. 2, pp. 681-684.
- [19] Z. Xiaoe, W. Jinmei, and L. Jinsong, "Simulation Research on the MPPT of the PV Cells Based on Fuzzy Control," *2013 Fourth International Conference Intelligent System Des. Eng. Appl.*, 2013, pp. 561-564.
- [20] A. K. Verma, B. Singh, and D. T. Shahani, "Fuzzy-logic based MPPT control of grid interfaced PV generating system with improved power quality," *IEEE 5th Power India Conference (PICONF 2012)*, 2012, pp.1-7.
- [21] S. Chin, Y. K. Chin, B. L. Chua, A. Kiring, and K. T. K. Teo, "Fuzzy logic based MPPT for pv array under partially shaded conditions", 2012 International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT), 2012, pp. 133-138.
- [22] Hamad, M.S, Fahmy, A.M, and Abdel-Geliel, M., 'Power Quality Improvement of a Single-Phase GridConnected PV System with Fuzzy MPPT Controller', *IEEE*, pp.1839- 1844, 2013.
- [23] Syafii, Y. Mayura, Muhardika, "Strategi Pembebanan PLTS Off Grid Untuk Peningkatan Kontinuitas Suplai Energi Listrik," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 15, No.2, pp. 157-161, 2019.