

MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA IRADIASI DAN SUHU BERFLUKTUASI BERBASIS FUZZY TYPE-2

Naafilah Widya Mulya¹, Novie Ayub Windarko², Rachma Prilian Eviningsih³

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

¹naafilawidya@gmail.com, ²ayub@pens.ac.id, ³rachmaevin@pens.ac.id

ABSTRACT

The potential of solar energy in Indonesia can be utilized as renewable energy and become one of the main alternative energy sources for power generation. The characteristics of solar panels will change depending on radiation levels and temperatures causing the power output of solar panels to fluctuate and become unstable. To reduce oscillations in output power, a study is needed to maximize the output power on solar panels, namely by using the Maximum Power Point Tracking (MPPT) method by using DC - DC circuits in the form of Cuk Converters using fuzzy type 2 controls to get optimal power values on the output. Test results using MATLAB / SIMULINK showed that in model 1 when irradiation conditions 1000W / m² with a temperature of 25 °C using Fuzzy Type 1 the accuracy obtained is 97.5% and using Fuzzy Type 2 the accuracy obtained is 100.2%. In model 2 when irradiation conditions 1000 W / m² with a temperature condition of 40°C using Fuzzy Type 1 the accuracy obtained is 94.3% and using Fuzzy Type 2 the accuracy obtained is 93.1%.

Keywords: *MPPT, Cuk Converter, Solar Panel, Fuzzy Type 2, Matlab*

ABSTRAK

Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan dan menjadi salah satu dari energi alternatif sumber utama untuk pembangkit listrik. Karakteristik panel surya akan berubah bergantung pada tingkat radiasi dan suhu yang menyebabkan daya output dari panel surya berfluktuasi dan menjadi tidak stabil. Untuk mengurangi osilasi dalam daya output diperlukan sebuah penelitian untuk memaksimalkan daya output pada panel surya yaitu dengan menggunakan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan digunakan rangkaian DC – DC berupa Cuk Konverter menggunakan kontrol fuzzy type 2 untuk mendapatkan nilai daya optimal pada keluaran. Hasil pengujian dengan menggunakan MATLAB/SIMULINK menunjukkan bahwa pada model 1 saat kondisi iradian 1000W/m² dengan suhu 25 °C dengan menggunakan Fuzzy Type 1 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 97,5% dan menggunakan Fuzzy Type 2 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 100,2%. Pada model 2 saat kondisi iradian 1000 W/m² dengan kondisi suhu 40°C menggunakan Fuzzy Type 1 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 94,3% dan menggunakan Fuzzy Type 2 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 93,1%.

Kata kunci: *MPPT, Cuk Konverter, Panel Surya, Fuzzy Type-2, Matlab*

I. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan dan harga bahan bakar yang tinggi merupakan salah satu faktor yang memberikan kerugian bagi pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Penggunaan Energi terbarukan menjadi energi alternatif yang diharapkan dapat mengubah pola distribusi salah satunya yaitu panel surya. Dijelaskan [1] bahwa keuntungan energi alternatif dengan Panel Surya tidak memerlukan sumber bahan bakar fosil, tidak menyebabkan pencemaran lingkungan, membutuhkan waktu pemeliharaan yang lebih sedikit,

dan tidak membuat kebisingan dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya.

Energi yang dihasilkan panel surya sangat bergantung pada kondisi iradiasi dan suhu. Untuk mendapatkan nilai efisiensi yang maksimum berbagai metode dikembangkan diantaranya yaitu metode Maximum Power Point Tracking (MPPT). Metode ini bertujuan untuk mencari titik kerja sel surya yang mampu menghasilkan daya maksimum dan bekerja di titik kerja Optimal [2].

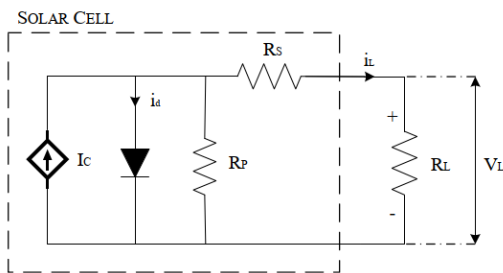
Kontrol logika Fuzzy Type 2 adalah pengembangan dari kontrol logika Fuzzy. Kondisi ketahanan, dinamis, dan ketidakpastian dari sederhana hingga kompleks cocok untuk digunakan dalam kontrol fuzzy, misalnya untuk panel surya. Berdasarkan [3] dalam hal Adaptif dan pembaharuan, itu adalah perbedaan dalam kontrol Fuzzy Type-2 dan Fuzzy Type-1. Penggunaan kontrol untuk mengurangi nilai sementara dan fluktuasi di sekitar daya maksimum adalah keuntungan dari Fuzzy Type-2 [9]. Dengan adanya implementasi dari kontrol logika fuzzy type 2 diharapkan waktu tracking panel surya yang lebih cepat[4] [5].

Konverter Cuk dapat memberikan tegangan output dengan polaritas terbalik sebagai inputnya dan dengan besaran lebih rendah dari, sama dengan atau lebih tinggi dari tegangan input [12]. Konverter Cuk memiliki beberapa keuntungan seperti rasio konversi yang luas, input halus dan arus output, pemanfaatan transformator penuh, dan transfer energi kapasitif [6] [7]. Penelitian yang dibahas dalam makalah ini membahas simulasi dengan 2 model yaitu perubahan iradiasi dan suhu serta perubahan iradiasi dengan suhu tetap pada titik maksimum keterlaksanaan menggunakan perbandingan metode Fuzzy Type-1 dan Tipe-2 Fuzzy MPPT.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Panel Surya dan Karakteristik

Sebuah PV modul dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian ekuivalen yang direpresentasikan oleh resistor seperti tersusun pada Gambar 1.

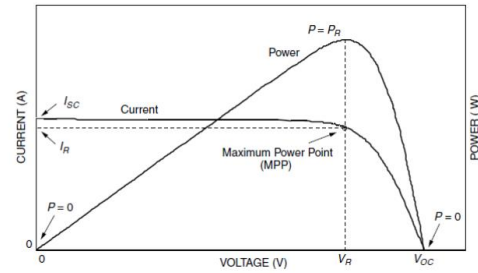


Gambar 1. Rangkaian ekuivalen panel surya

Untuk menghubungkan nilai arus dan tegangan pada keluaran panel surya didapatkan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{v + IR_s}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{v + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Dengan persamaan diatas operasi dari panel surya akan membentuk kurva karakteristik I-V. Pada iradiansi dan temperatur yang konstan titik operasi dari panel surya merupakan perpotongan antara kurva karakteristik I-V dan karakteristik beban.



Gambar 2. Kurva karakteristik panel surya[11]

Model dari panel surya yang digunakan dalam implentasi ini ditunjukkan pada Gambar 2.

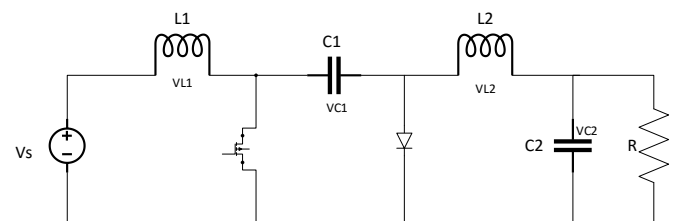
Table 1. Datasheet sistem panel surya

Parameter	Nilai
P_{max}	100 W
V_{mp}	17.8 V
I_{mp}	5.62 A
V_{oc}	21.8 V
I_{sc}	6.05 A
Dimension	1125 x 670 x 30 mm

Pada Tabel 1, nilai parameter pada Panel Surya ditampilkan sesuai dengan lembar data yang digunakan dalam sistem sebagai sumber energi listrik. Sesuai dengan desain sistem, panel surya yang digunakan adalah sebuah modul surya ST-Solar Polycrystalline 100 WP. Terdapat variasi daya maksimum, tegangan, dan arus yang mampu dihasilkan oleh PV. Setiap PV memiliki paramater yang berbeda-beda seperti pada V_{oc} (open circuit voltage) dan I_{sc} (short circuit current). Terdapat kondisi ideal atau standard condition pada penggunaan PV yaitu pada saat intensitas cahaya matahari 1000 W/m² dan temperatur 25°C.

2.2 Cuk Konverter

Desain converter dimulai dengan menentukan penentuan range tegangan kerja dari sistem serta besarnya beban maksimal. parameter ini akan berpengaruh pada besarnya nilai induktor, kapasitor serta komponen lainnya. Untuk mendesain cuk converter sesuai dengan rangkaian cuk converter yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian cuk converter

Pada saat switch on, switch dalam keadaan tertutup VGS akan aktif, sehingga arus akan mengalir melalui switch dan dioda dalam kondisi reverse bias. Pada kondisi ini, arus pada sisi input akan mengalami pengisian energi dari tegangan sumber dan kapasitor pentransfer tegangan (C1) akan mengalami keadaan discharge oleh arus dari induktor sisi output (L2). Sehingga arus pada induktor sisi output akan mengalami pengisian energi.

Pada saat switch off, switch dalam keadaan terbuka dan dioda dalam keadaan forward bias VGS akan off. Sehingga, arus dari induktor sisi input (L1) dan induktor sisi output (L2) akan mengalir melalui dioda dalam kondisi pengosongan energi. Pada keadaan ini kapasitor pentransfer tegangan (C1) akan mengalami kondisi charge oleh arus dari induktor sisi input (L1)[3]

Untuk menghitung nilai duty cycle dapat digunakan persamaan 2. nilai kapasitor dan nilai induktor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$D = \frac{V_o}{V_s + V_o} \quad (2)$$

Nilai dari capasitor 1 dan 2 terdapat pada persamaan 3.

$$C = \frac{1-D}{\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) 8L2f^2} \quad (3)$$

Nilai dari Induktor 1 dan 2 terdapat pada persamaan 4.

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I_L \times f} \quad (4)$$

ΔI_L adalah riak saat ini yang 10% dari input saat ini. ΔV_o adalah riak tegangan yang 1% dari tegangan output. Parameter komponen yang telah dihitung ditunjukkan pada Table 2.

Tabel 2. Parameter komponen cuk konverter

Parameter	Nilai Perhitungan	Nilai Perkiraan
V_{in}	17,8 V	17,8 V
V_{out}	14,4 V	14,4 V
I_{in}	5,62 A	5,62 A
L_1	176,97 μ H	180 μ H
L_2	169 μ H	170 μ H
C_1	40,9 μ F	50 μ F
C_2	25,5 μ F	50 μ F
R	2,44 Ω	2,7 Ω
F_s	40 kHz	40 kHz

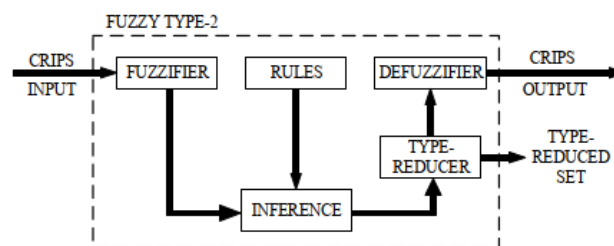
Pada saat switch on, switch dalam keadaan tertutup dimana VGS akan aktif, sehingga arus akan mengalir melalui switch dan dioda dalam kondisi reverse bias. Pada kondisi ini, arus pada sisi input akan mengalami pengisian energi dari tegangan sumber dan kapasitor

pentransfer tegangan (C1) akan mengalami keadaan discharge oleh arus dari induktor sisi output (L2). Sehingga arus pada induktor sisi output akan mengalami pengisian energi.

Pada saat switch off, switch dalam keadaan terbuka dan dioda dalam keadaan forward bias dimana VGS akan off. Sehingga, arus dari induktor sisi input (L1) dan induktor sisi output (L2) akan mengalir melalui dioda dalam kondisi pengosongan energi. Pada keadaan ini kapasitor pentransfer tegangan (C1) akan mengalami kondisi charge oleh arus dari induktor sisi input (L1)[3]

2.4 MPPT Fuzzy Type-2

Type-2 Fuzzy Logic mempunyai kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan Fuzzy Type-1. Ketika menyelesaikan permasalahan ketidakpastian, Fuzzy Type-2 telah digunakan, sistem logika Fuzzy Type-1 juga telah digunakan pada pemodelan ketidakpastian untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dan juga mampu untuk meningkatkan akurasi dari hasil keluaran.



Gambar 4. Stuktur fuzzy type 2.

Pada Gambar 4 ditunjukkan masing – masing blok dari struktur logika sistem fuzzy Type-2. Dimana terdapat Fuzzifier, Rules, Interference, Type-Reducer dan Defuzzifier. Fuzzifier merupakan proses pemetaan nilai tegas menjadi himpunan fuzzy dari masukkan menggunakan fungsi keanggotaan. Inferensi / rule base adalah suatu sistem pengambilan keputusan yang terdapat pada konsep logika fuzzy. Type Reducer disebut sebagai reduksi dikarenakan di proses ini, dibawa dari himpunan keluaran fuzzy tipe-2 yang telah didapatkan menjadi himpunan fuzzy tipe-1. defuzzifikasi dapat diartikan sebagai proses yang mengubah nilai himpunan kesimpulan menjadi nilai tegas yang kemudian menjadi hasil keluaran Fuzzy Type-1

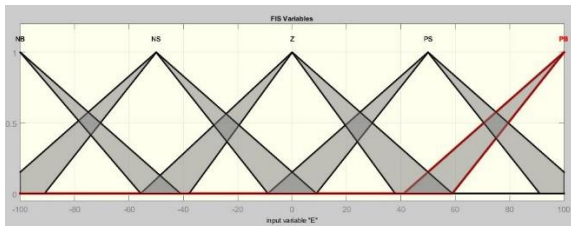
Fuzzy Type 2 Memiliki Daerah operasi dari sistem Fuzzy Type-2 dibagi menjadi 2, Positive dan Negative. Sesuai dengan parameter input dan output Algoritma Fuzzy Type 2.

$$E(k) : \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} = \frac{dP(k)}{dV(k)} \quad (5)$$

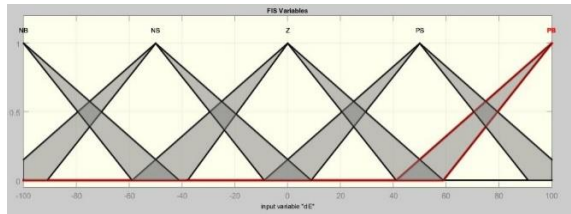
$$\Delta E(k) : E(k) - E(k-1) \quad (6)$$

Pelacakan daya maksimum memperhatikan error dan perubahan error. Saat daya mencapai puncak maka nilai error akan mendekati nol, perubahan error merepresentasikan arah perubahan daya. Semakin jauh titik tersebut dari titik maksimum maka perubahan duty cycle akan semakin besar. Parameter input output inilah yang akan dimasukkan kedalam fungsi keanggotaan dari fuzzy logic, sehingga perubahan duty cycle tidak konstan melainkan menyesuaikan dengan kondisi daya sekarang.

Nilai input dan output direpresentasikan dalam suatu fungsi keanggotaan yang nilai jangkauannya ditentukan berdasarkan percobaan. Fungsi keanggotaan dari sistem dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan error



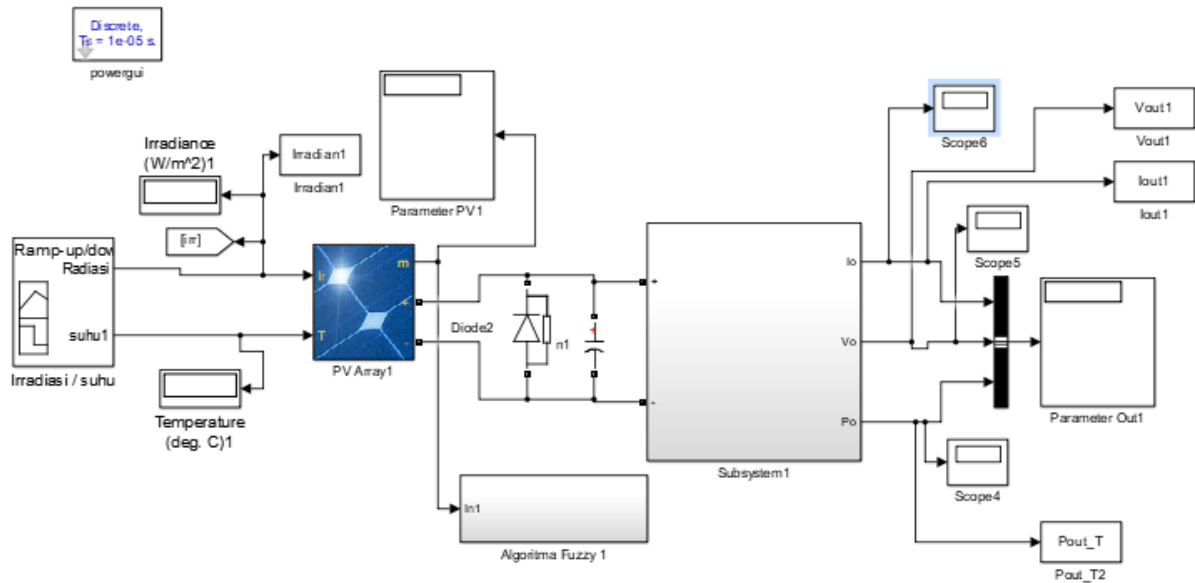
Gambar 6. Fungsi keanggotaan perubahan error

Untuk menentukan hubungan antara kedua input dan output dari MPPT maka digunakan rule untuk mengaitkan kedua input tersebut. Pada sistem MPPT ini akan digunakan rule base yang ditunjukkan pada Tabel 3.

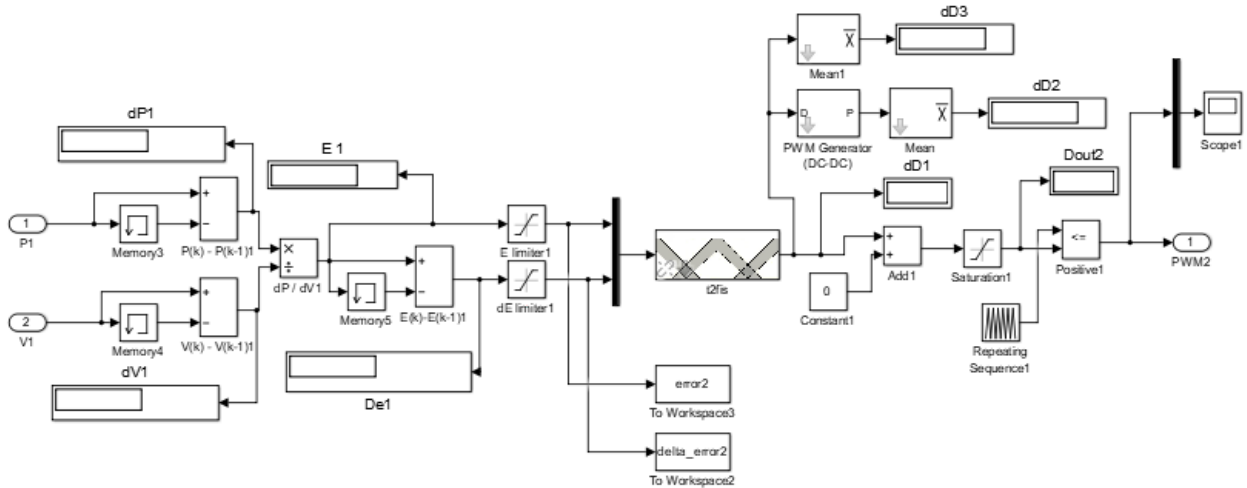
Berdasarkan lima tingkat fuzzy yang berbeda, parameter input digunakan dengan nama NB (Negatif Big), NS (Negatif Kecil), ZE (Nol), PS (Positif Kecil), dan PB (Positif Big). Menurut Tabel III, sistem Fuzzy Type-2 diatur oleh 25 aturan yang berbeda. Dalam makalah ini, model dan sistem simulasi dibuat menggunakan perangkat lunak MATLAB / Simulink. parameter telah ditetapkan di bagian bahan dan metode. Gambar 7 menunjukkan simulasi diagram blok yang dimodelkan. Gambar 8 adalah diagram blok MPPT menggunakan Sugeno Fuzzy Type-2.

Tabel 3. Rule base fuzzy type 2

$\Delta u(k)$		$\Delta E(k)$				
		NB	NS	ZE	PS	PB
E(k)	NB	PB	PS	NB	NB	NB
	NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
	ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
	PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
	PB	PB	PB	PB	ZE	ZE



Gambar 7. Model Blok Diagram



Gambar 8. Model Diagram MPPT Fuzzy Type -2

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

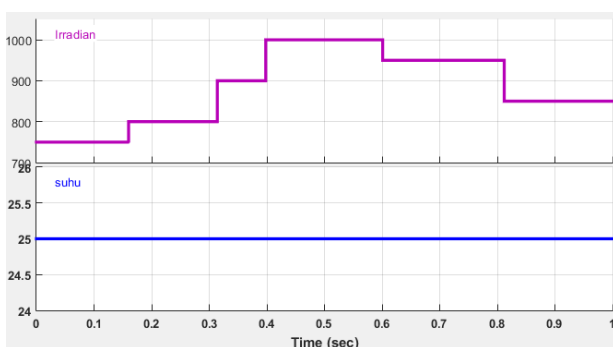
Kondisi daya yang ideal adalah kondisi daya sesuai dengan spesifikasi panel surya yang digunakan. Untuk perhitungan daya ideal, diperlukan nilai iradiasi dan spesifikasi daya maksimum yang tercantum pada lembar data panel surya. Perhitungan daya panel surya yang ideal ditunjukkan dalam persamaan 7.

$$P_{ideal} = P_{max(PV)} \times Irradiance \quad (7)$$

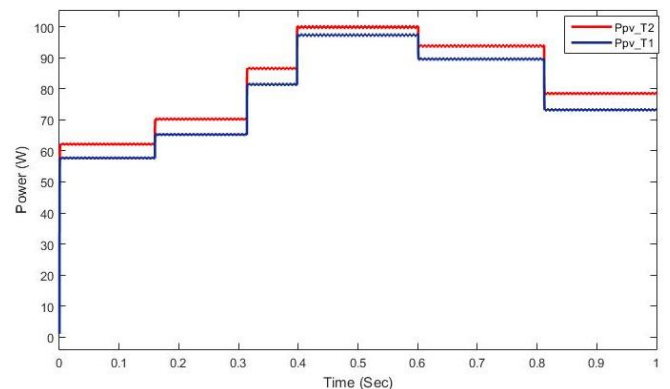
Hasil perbandingan akan diperoleh daya output masing-masing panel surya untuk mencapai titik maksimum dan nilai akurasi daya rata-rata. Pada model 1 ditampilkan pada Gambar 10. Panel Surya diatur pada 750 W/m² hingga 1000 W/m² iradiasi dengan suhu tetap 25 °C (STC). Hasil data pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Persentase akurasi daya akan dicari untuk setiap metode MPPT dan hasilnya akan dibandingkan. Akurasi daya adalah nilai hasil tes menggunakan metode MPPT dibandingkan dengan daya ideal yang terkandung dalam PV untuk setiap iradiasi. Akurasi daya ditunjukkan oleh persentase akurasi (Acc) hasil. dapat dilihat dalam rumus dalam persamaan 8.

$$Acc (\%) = \left(1 - \frac{P_{PVideal} - P_{PVmethod}}{P_{PVideal}}\right) \times 100\% \quad (8)$$



Gambar 9. Perubahan irradian dan temperatur tetap.



Gambar 10. Grafik daya keluaran suhu tetap irradian berubah

Hasil pengujian pada Gambar 10 menunjukkan iradiasi minimum adalah 750 W/m² dengan daya output menggunakan Fuzzy Type-2 adalah 62,3 Watt. Daya output ideal panel surya berdasarkan perhitungan adalah 75,13 Watt. Persentase akurasi daya dalam kondisi minimum adalah 82,92%. Pada iradiasi sedang 850W/m², daya output menggunakan Fuzzy Type-2 adalah 78,6 Watt. Daya output yang ideal adalah 85,27 Watt. Dari data iradiasi sedang, persentase akurasi daya adalah 92,18%. Pada iradiasi maksimum 1000 W/m² dengan daya output menggunakan Fuzzy Type-2 adalah 100,2 Watt dengan daya output ideal 100 Watt. Persentase akurasi daya pada iradiasi maksimum adalah 100,20 %.

Ditunjukkan pada Tabel 4 pada tingkat iradiasi rendah, sedang, dan tinggi, Fuzzy Type-2 lebih cepat dalam menanggapi titik maksimum dan keadaan stabil. Pada tingkat iradiasi maksimum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, Fuzzy Type 2 mengurangi riak dan nilai sementara dari daya output panel surya

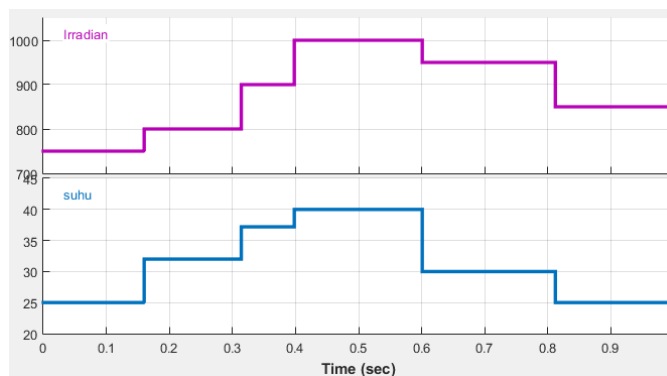
Tabel 4. Data Hasil Simulasi Kondisi STC

Irr (W/m ²)	Temp (°C)	Ppv (W)	Type 1		Type 2	
			P _{pvT1} (W)	Acc (%)	P _{pvT2} (W)	Acc (%)
750	25	75,13	57,8	76,93	62,3	82,92
800	32	80,31	66,2	82,43	71	88,41
900	37	90,2	81,8	90,69	85,4	94,68
1000	40	100	94,3	94,30	93,1	93,10
950	30	95,13	89,8	94,40	92,6	97,34
850	25	85,27	73,1	85,73	78,6	92,18

Tabel 5. Data Hasil Simulasi Dengan Irradian Dan Temperatur Berubah

Irr (W/m ²)	Temp (°C)	Ppv (W)	Type 1		Type 2	
			P _{pvT1} (W)	Acc (%)	P _{pvT2} (W)	Acc (%)
750	25	75,13	57,8	76,93	62,3	82,92
800		80,31	65,4	81,43	70,4	87,66
900		90,2	81,6	90,47	86,7	96,12
1000		100	97,5	97,50	100,2	100,20
950		95,13	89,5	94,08	93,6	98,39
850		85,27	73,1	85,73	78,6	92,18

Dalam model kedua pada Gambar 11, variabel input diatur pada tingkat iradiasi 750 W/m² hingga 1000 W/m² dengan suhu ditetapkan pada 25 ° C hingga 40 ° C. Hasil dari model kedua dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perubahan iradian dan temperatur.

Pada model 2, daya output panel surya memiliki nilai yang lebih rendah dari model 1 karena nilai suhu dalam kondisi uji standar (STC) adalah 25 ° C dengan iradiasi 1000 W/m². Hasil pengujian pada Gambar 12 menunjukkan iradiasi minimum adalah 750 W/m² dengan daya output menggunakan Fuzzy Type-2 adalah 62,3 Watt. Daya output ideal panel surya berdasarkan perhitungan adalah 75,13 Watt. Persentase akurasi daya dalam kondisi minimum adalah 76,93%. Pada iradiasi sedang 850W/m², daya output menggunakan Fuzzy Type-2 adalah 78,6 Watt. Daya output yang ideal adalah 78,6 Watt.

Dari data iradiasi sedang, persentase akurasi daya adalah 92,18 %. Pada iradiasi maksimum 1000 W/m² dengan daya output menggunakan Fuzzy Type-2 adalah

100,2 Watt dengan daya output ideal 93,1 Watt. Persentase akurasi daya pada iradiasi maksimum adalah 93,10%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dengan membandingkan metode MPPT Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 hasil yang didapat pada model 1 saat kondisi irradian 1000W/m² dengan suhu 25 °C dengan menggunakan Fuzzy Type 1 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 97,5% dan menggunakan Fuzzy Type 2 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 100,2%. Pada model 2 saat kondisi irradian 1000 W/m² dengan kondisi suhu 40°C dengan menggunakan Fuzzy Type 1 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 94,3% dan menggunakan Fuzzy Type 2 akurasi yang didapatkan adalah sebesar 93,1%. Fuzzy Type-2 memiliki nilai pelacakan daya yang lebih akurat pada kondisi STC dari pada saat kondisi irradian dan suhu berubah. Fuzzy Type-2 lebih stabil untuk mengatasi riak dan transien selama kondisi iradiasi dan perubahan suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Anoune, M. Bouya, M. Ghazouani, A. Astito, and A. B. Abdellah, "Hybrid renewable energy system to maximize the electrical power production," in 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, Nov. 2016, pp. 533–539. doi: 10.1109/IRSEC.2016.7983992.
- [2] A. T. Azar, "Overview of Type-2 Fuzzy Logic Systems," International Journal of Fuzzy System Applications, vol. 2, no. 4, pp. 1–28, Oct. 2012, doi: 10.4018/ijfsa.2012100101.
- [3] S. Soltani, N. Square, and M. J. Kouhanjani, "Fuzzy Logic Type-2 Controller Design for MPPT in," p. 7, 2017.
- [4] K.A.Naik, C.P Gupta, "Performance Comparison of Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Systems" in 2017 International Conference on Signal Processing, Computing and Control (IEEE), Solan, India.
- [5] V. Bish and B. Singh, "PFC Cuk Converter-fed BLDC Motor Drive," in IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.30, No.2, New Delhi, India, February, 2015.
- [6] Dileep. G and S.N. Singh, "Selection of non-isolated DC-DC converters for solar photovoltaic system," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 76, pp. 1230–1247, September 2017.
- [7] S. Sivakumar, M.JagabarSathik, P.S.Manoj and G.Sundararajan, "An assessment on performance of DC–DC converters for renewable energy applications," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 58, pp. 1475–1485, May 2016.
- [8] Bachar Meryem*, Naddami Ahmed, Fahli Ahmed , "Photovoltaic Power Control Using Fuzzy Logic and Fuzzy Logic Type 2 MPPT Algorithms and Buck Converter". In 2019 Advances in Technology Innovation, vol. 4, no. 3. Morocco.
- [9] Gwo Ruey Yu, Yi Cheng Lin, "Design of MPPT by Using Interval Type-2 T-S Fuzzy Controller", in 2014 International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Beijing, China.

- [10] N. V.P. Fuzzy Logic Based Hill Climbing Method For Maximum Power Point Tracking In PV System. International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013.
- [11] Machmud Effendy, N. A. Mardiyah, and K. Hidayat, "Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&OFuzzy," Jnteti, vol. 6, no. 1, pp. 2–7, 2017.
- [12] Zongchang Sun and Zhoujun Yang, "Improved maximum power point tracking algorithm with cuk converter for PVsystems, "The Journal of Engineering, " vol. 2017, pp. 1676 – 1681, 2017
- [13] R. Arulmurugan dan N. S. Vanitha, Intellegent Fuzzy MPPT Controller using Analysis of DC to DC Novel Buck Converter for Photovoltaic Energy System Applications, Proceedings of the 2013 International Conference on Pattern Recognition, Informatics and Mobile Engineering, IEEE, 21-22, 2013.
- [14] Khusnul Hidayat , Mohammad Chasrun Hasani, Nur Alif Mardiyah, dan Machmud Effendy, "Strategi Pengisian Baterai pada Sistem Panel Surya Standalone Berbasis Kontrol PI Multi-Loop", Jurnal Teknik Elektro Vol. 13 No. 1, 2021.
- [15] Dimas Juniyanto, Tatyantoro Andrasto , dan Suryono, "Optimalisasi Stand-Alone Photovoltaic System dengan Implementasi Algoritma P&O-Fuzzy MPPT", Jurnal Teknik Elektro Vol. 10 No. 1, 2018.