

Metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan Boost Converter Menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) pada Modul Surya

T. Murisal Asyadi¹, Ira Devi Sara², dan Suriadi²

¹Program Studi Magister Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer

²Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer

Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam, Banda Aceh 23111

e-mail: suriadimali@unsyiah.ac.id

Abstrak—Modul surya memiliki karakteristik arus dan tegangan yang bersifat non-linear, sehingga harus diupayakan untuk selalu dapat bekerja pada titik daya maksimum supaya tidak ada energi yang terbuang. Karakteristik modul surya akan berubah tergantung tingkat radiasi dan suhu yang mengakibatkan daya keluaran modul surya berfluktuasi dan menjadi tidak stabil. Untuk mengurangi osilasi daya keluaran modul surya digunakan metode *Fuzzy Logic Control* (FLC) dengan menggunakan *boost converter*. Beberapa penelitian sudah banyak dilakukan untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya, salah satunya yaitu dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan titik daya maksimum pada sekumpulan modul surya yang tersusun secara seri dan paralel melalui unjuk kerja metode FLC. Dalam pelacakan titik daya maksimum saat operasi kerja normal, metode *fuzzy* bekerja sama dengan *boost converter*. MPPT *fuzzy* diuji pada modul surya dalam beberapa kondisi radiasi dan suhu dengan menggunakan *software* Matlab/Simulink. Metode perancangan *fuzzy* menunjukkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode yang lain. Hasil yang diperoleh menunjukkan keunggulan metode FLC dalam hal waktu penyelesaian, kehilangan daya dan osilasi pada titik sistem operasi.

Kata kunci: *modul surya, maximum power point tracking (mppt), boost converter, fuzzy logic control (flc)*

Abstract—Solar modules have current and voltage characteristics that are non-linear, so efforts must always be made to work at the maximum power point so that no energy is wasted. The characteristics of the solar module will change depending on the level of radiation and temperature which causes the output power of the solar module to fluctuate and become unstable. To reduce oscillations in the output power of the solar module, the Fuzzy Logic Control (FLC) method used using the boost converter. Several studies have been done to maximize the output power of solar panels, one of which is by using namely by using Maximum Power Point Tracking (MPPT). This study aims to obtain the maximum power point in a set of solar modules arranged in series and parallel through the performance of the FLC method. In tracking the maximum power point during normal operation, the fuzzy method works together with a boost converter. Fuzzy-based MPPT was tested on a solar module under several radiation and temperature conditions using Matlab / Simulink software. The Fuzzy design method shows better results compared to other methods. The results obtained show the advantages of the FLC method in terms settling time, power loss, and oscillation at the point of the operating system.

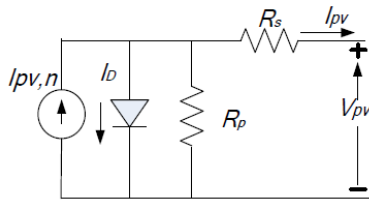
Keywords: *solar module, maximum power point tracking (mppt), boost converter, fuzzy logic control (flc)*

I. PENDAHULUAN

Modul surya terbuat dari begitu banyak bagian-bagian kecil yang disebut sel surya yang terhubung seri dan paralel untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan [1]. Kumpulan dari banyak sel surya ini disebut dengan modul atau panel surya. Susunan panel surya atau *photovoltaic* (PV) *array* ini diletakkan di suatu lahan terbuka dimana tidak ada benda yang menyebabkan sinar matahari terhalang. Panel akan menerima sinar

secara maksimum saat matahari berada tepat tegak lurus menghadap panel.

Panel surya memiliki karakteristik yang *non-linier* antara arus dan tegangannya. Energi yang dihasilkan panel surya sangat bergantung pada kondisi iradiasi dan suhu [2]. 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



Gambar 1. Model sistem photovoltaic

optimal.

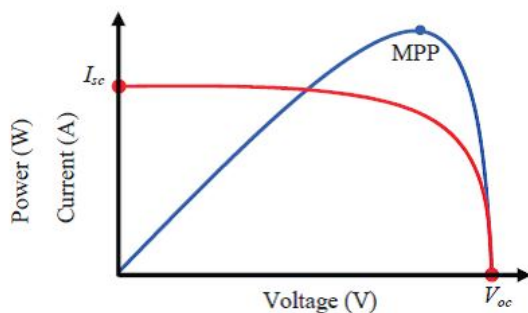
Metode MPPT menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) memiliki desain yang relatif sederhana dan tidak memerlukan model matematis [3]. Pada penelitian ini untuk mendapatkan daya optimum digunakan MPPT berbasis FLC pada sistem panel surya. Tujuannya agar daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat mencapai nilai maksimum dalam berbagai kondisi iradiasi dan suhu, baik pada hambatan atau beban R maupun pada baterai. Serta menyebabkan daya keluaran dari metode FLC akan beresilasi karena naik dan turunnya tegangan yang diproses oleh metode MPPT FLC.

II. STUDI PUSTAKA

A. Modul Surya

Sel surya didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik *direct current* (DC) dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya [4]. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya maka sel surya berhenti menghasilkan energi listrik. Adapun rangkaian ekuivalen sel surya ditunjukkan seperti pada Gambar 1.

Modul surya adalah sumber energi listrik yang memiliki beberapa parameter tergantung dari beberapa faktor eksternal seperti sudut paparan sinar, bayang-bayang, suhu material, dan lain-lain. Beberapa dari faktor ini tidak dapat diprediksi, sehingga diperlukan evaluasi terhadap parameter sel modul surya tersebut untuk kemudian digunakan sebagai tegangan pada rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus pada rangkaian tertutup (I_{sc}) [5]. Nilai kedua parameter dapat didefinisikan dalam bentuk kurva $I(V)$ dimana terjadi pemotongan antara dua buah sumbu (sumbu I dan V), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva karakteristik V-I dan V-P dari sel PV [1]

B. Metode Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Modul surya memiliki fungsi untuk mengubah intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik. Daya keluaran dari panel sangat dipengaruhi oleh jumlah radiasi matahari, temperatur, konfigurasi *bypass* dioda, dan kondisi *partial shading* [6]. Dalam pemodelan sistem PV, keakuratan karakteristik sel dapat diprediksi dengan dua pendekatan pemodelan utama yaitu model satu dioda dan model dua dioda [7],[8].

Titik kerja panel surya akan berubah sesuai dengan perubahan nilai hambatan beban dan titik kerja optimal dapat dicapai apabila mendapatkan nilai hambatan beban yang sesuai, sehingga didapatkan daya maksimal. Prinsip kerja dari MPPT adalah mencari titik daya keluaran maksimum sel surya pada kurva karakteristik $V-P$. Apabila dalam sistem panel surya tegangan kerja jatuh pada daerah di sebelah kiri V_{mp} (tegangan kerja lebih kecil daripada tegangan V_{mp}), maka tegangan kerja panel surya akan dinaikkan sampai mencapai V_{mp} . Begitu juga sebaliknya apabila tegangan kerja panel surya lebih besar daripada tegangan V_{mp} , maka tegangan kerja panel surya akan diturunkan sampai mencapai V_{mp} . Setelah mencapai titik tegangan maksimum, secara otomatis daya keluaran pada panel surya juga akan menjadi maksimal.

C. MPPT Menggunakan FLC

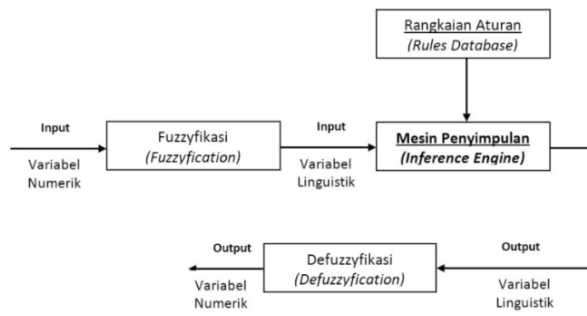
Penelitian ini menggunakan metode kontrol MPPT berbasis FLC untuk sel surya *input* dari *fuzzy controller*. Tetapi modul surya yang digunakan sepenuhnya bergantung pada pembuat sistem aplikasi yang dikerjakan untuk sistem PV sel surya.

Kendali logika *fuzzy* dalam FLC memiliki tiga tahapan yaitu *fuzzyfikasi*, mekanisme inferensi dan *defuzzyfikasi*. *Fuzzyfikasi* merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (*crisp*) dari suatu variabel menjadi nilai *fuzzy*. Nilai yang telah berbentuk *fuzzy* ini selanjutnya digunakan sebagai masukan dari mekanisme inferensi. Pada tahap ini, akan dilakukan pengambilan keputusan dari masukan yang ada berdasarkan basis aturan logika yang dirancang. Nilai keluaran dari mekanisme inferensi yang berbentuk *fuzzy* selanjutnya diubah kembali kedalam bentuk tegas melalui proses *defuzzyfication* [9].

MPPT *fuzzy controller* didasarkan pada penerapan logika *fuzzy* yang terdiri dari tiga bagian yaitu *fuzzyfikasi*, mekanisme inferensi dan *defuzzyfikasi*. *Fuzzy controller* pada MPPT dapat digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dan ketidaktelitian nilai yang dihasilkan oleh panel surya [10].

Metode yang digunakan untuk memperoleh *output* dalam penelitian ini adalah *mamdani inference*. Metode ini sangat sederhana karena hanya menggunakan 2 *input* untuk mendapatkan *output* yang melalui 3 tahapan, yaitu [9]:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy* yaitu variabel *input* maupun *output* dibagi menjadi satu atau lebih fungsi



Gambar 3. Diagram sistem FLC [9]

keanggotaan. Pada penelitian ini *input* untuk *fuzzy logic* adalah suhu dan iradiasi cahaya matahari. Sedangkan *output*-nya adalah *Pulse Width Modulation* (PWM).

2. Komposisi aturan yaitu ada tiga metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy* yaitu metode *max*, metode *additive*, dan *probabilistic*.
3. Penegasan (*defuzzyfikasi*) yaitu *input* dari *defuzzyfikasi* adalah suatu fungsi keanggotaan yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy* sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan konstan.

Secara keseluruhan proses MPPT menggunakan metode FLC dijelaskan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.

III. METODE SIMULASI MODUL SURYA DENGAN METODE FLC

Analisis dilakukan dengan rangkaian simulasi menggunakan *software* Matlab/Simulink. Dalam pengerjaannya dibutuhkan beberapa tahapan secara berurutan seperti terlihat pada Gambar 4. Pada perancangan ini akan dibuat sebuah model *boost converter* yang akan diimplementasikan dalam sistem panel surya dengan algoritma FLC.

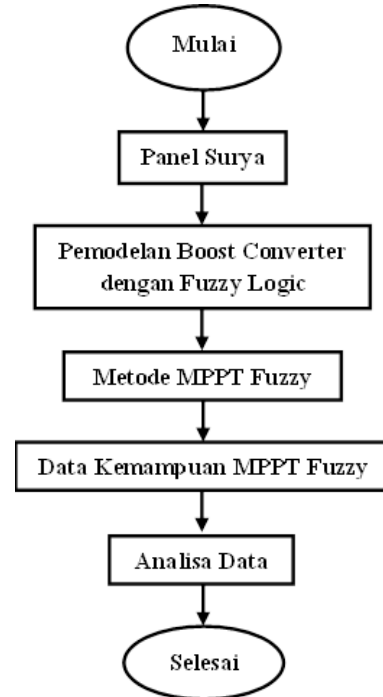
Tahapan yang dilakukan dalam merancang konfigurasi menggunakan Matlab/Simulink berupa pemilihan panel surya, perancangan *boost converter*, dan perancangan algoritma *fuzzy*.

A. Pemilihan Panel Surya

Panel surya yang digunakan sebagai acuan data simulasi dalam penelitian ini adalah panel surya *Solarland Monocrystalline* 115Wp. Data Panel surya pada kondisi *Standard Test Commissioning* (STC) ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

B. Perancangan Boost Converter

Setelah mendapatkan semua parameter awal dari *converter* maka selanjutnya menghitung besar komponen utama pembentuk *boost converter* terutama komponen induktor (*L*) dan kapasitor (*C*). Perhitungan komponen



Gambar 4. Diagram alir metode MPPT fuzzy

dari *boost converter* di bawah ini menggunakan tegangan *output* sebesar 22 V. Perhitungan nilai *duty cycle* (*D*) dari kontrol *switching* didasarkan pada perbandingan tegangan masukan dan tegangan keluaran *boost converter* yaitu sebesar:

$$D = 1 - \frac{V_{PV}}{V_{out}} = 1 - \frac{17.16}{22} = 0.22$$

Selanjutnya perhitungan arus maksimum dari panel surya saat daya maksimum sebagai sumber masukan *boost converter* dapat dilihat berdasarkan data pada Tabel 1 dimana besar daya maksimum panel surya (P_{PV_maks}) adalah 115 W dengan tegangan maksimum 17,16 V sehingga besar arus maksimum (I_{PV_maks}) dari panel surya adalah:

Tabel 1. Karakteristik modul surya pada kondisi STC

Merk	Solarland
Teknologi	Monocrystalline
Daya maksimum (PPV_max)	115 WP
Tegangan saat daya maksimum (Vmp)	17.16 V
Arus saat daya maksimum (Imp)	6.7 A
Tegangan open circuit (Voc)	21.8 V
Arus short circuit (Isc)	7.5 A
Voc temperature coefficient	-0.32 %/OC
Isc temperature coefficient	0.06 %/OC
Pmaxtemperature coefficient	-0.45 %/OC
NOCT (air 20 OC, sun 0.8 kW/m2, wind 1 m/s)	45 ± 20C
Temperatur operasi	-400C + 850C
Tegangan sistem maksimum	700 VDC
Toleransi daya	0-3%

$$I_{PV_maks} = \frac{P_{PV_maks}}{V_{PV_maks}} = \frac{115}{17.16} = 6.7 A$$

Sedangkan besar arus keluaran dari *boost converter* saat $I_{(PV_maks)}$ adalah:

$$\begin{aligned} I_{boost} &= I_{PV_maks} \times \frac{V_{PV}}{V_{out} + V_{Dioda}} \\ &= 6.7 A \times \frac{17.16V}{22V + 0.7V} = 5.02 A \end{aligned}$$

Dengan mengasumsi besar *ripple* arus maksimum pada induktor sebesar 10%, maka besar selisih arus pada induktor adalah:

$$\begin{aligned} \Delta I_L &= 0.1 \times I_{boost} \times \frac{V_{boost} + V_{dioda}}{V_{PV}} \\ &= \frac{0.1 \times 5.02 \times (22 + 0.7)}{17.16} = 0.66 A \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menghitung nilai induktor berdasarkan parameter di atas, diperoleh:

$$\begin{aligned} L &= \frac{I_{PV_maks} \times (V_{boost} + V_{dioda} - V_{PV})}{\Delta I_L \times f \times (V_{boost} + V_{dioda})} \\ &= \frac{6.7 \times (22 + 0.7 + 17.16)}{0.66 \times 40000 \times (22 + 0.7)} = 445.6 \mu H \end{aligned}$$

Arus rata-rata yang melalui dioda *boost converter* sebesar:

$$\begin{aligned} I_{Drms} &= I_{Dpeak} \times \sqrt{D} = \left(\frac{I_{boost}}{D} \right) \times \sqrt{D} \\ &= \frac{5.02}{0.22} \times \sqrt{0.22} = 10.7 A \end{aligned}$$

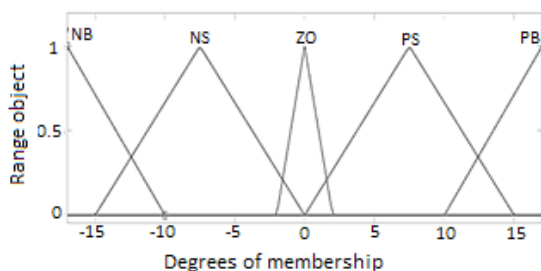
Setelah didapatkan parameter arus yang melalui diode dan arus *boost converter*, maka selanjutnya dapat dihitung arus pengisian kapasitor rata-rata, yaitu:

$$\begin{aligned} I_{Crms} &= \sqrt{I_{Drms}^2 - I_{boost}^2} \\ &= \sqrt{10.7^2 - 5.02^2} = 11.81 A \end{aligned}$$

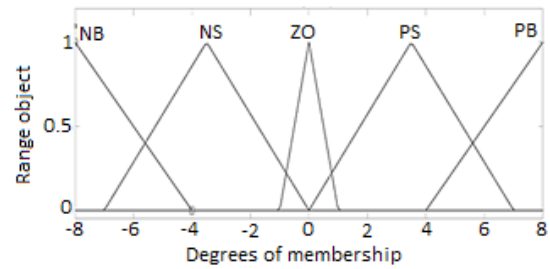
Dengan arus pengisian kapasitor maka didapatkan nilai kapasitor *boost converter* dengan memberi asumsi *ripple* sebesar 0.5%, yaitu:

$$\begin{aligned} C &= \frac{\Delta Q}{\Delta V_{boost}} = \frac{I_{Crms} \times D \times T}{\Delta V_{boost}} \\ &= \frac{11.81 \times 0.78 \times \left(\frac{1}{40000 Hz} \right)}{0.005 \times 22V} = 2093 \mu F \end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan *boost converter* bersifat ideal,



Gambar 5. Membership function input dari variabel ΔP



Gambar 6. Membership function input dari variabel ΔV

maka besar beban resistansi dapat diperoleh sebagai berikut:

$$R_L = \frac{V_{boost}^2}{P_{PV_maks}} = \frac{22^2}{115} = 4.208 \Omega$$

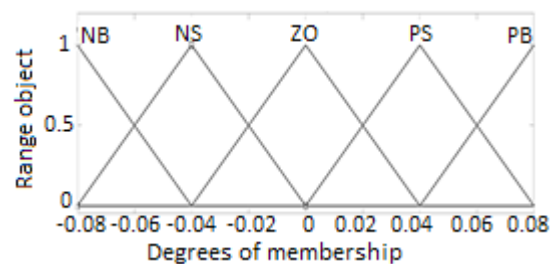
C. Perancangan Algoritma Fuzzy

Penerapan MPPT *fuzzy* dari diagram *membership function rule fuzzy* yang dalam bentuk simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 5. Diagram ini memperlihatkan setiap langkah atau urutan dalam pembuatan program *fuzzy*. Karena metode yang digunakan adalah *mamdani inference* yang terdiri dari 2 (dua) *input* dan 1 (satu) *output*.

Input pertama yang digunakan adalah P_{PV_maks} , *input* ini berasal dari nilai luaran daya panel surya. Nilai maksimal yang didapat adalah 115Wp, maka nilai maksimum yang digunakan *membership function* adalah 100. *Input* yang lainnya yang digunakan adalah *input* dari nilai *delta error*. *Input* ini berasal dari nilai daya keluaran P_{boost} pada saat penggunaan MPPT FLC. Nilai yang diasumsikan lebih mudah dilakukan dalam pembuatan algoritma. Karena dalam pembacaan pemrograman dimana nilai -5 tidak terbaca, maka digantikan dengan range nilai 0 sampai 10 seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Selanjutnya untuk nilai *output* dalam simulasi ini digunakan nilai *duty cycle*. Nilai *output* ini yang nantinya akan menaikkan atau menurunkan nilai sinyal yang dihasilkan. Pengaturan sinyal PWM ini akan menggerakkan mosfet untuk pensaklaran *boost converter*. Nilai PMW dibagi dalam beberapa bagian dengan pemberian inisial NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), ZO (*Zero*), PS (*Positif Small*) dan PB (*Positif Big*). Penentuan dari nilai *input* yang sebelumnya diberikan akan menentukan besarnya nilai PWM yang akan diberikan kemudian. Untuk penentuan nilai itu dapat dilihat pada Gambar 7.

Setelah menentukan *membership function*, selanjutnya yang dilakukan adalah membuat tabel *rule fuzzy*. Tabel



Gambar 7. Membership function dari output PWM

Tabel 2. Rule base dari fuzzy logic controller

	NB	NS	ZO	PB	PS
NB	ZO	PB	PB	PS	PS
NS	PS	PS	PS	ZO	ZO
ZO	PS	ZO	ZO	ZO	NS
PB	NB	NB	NB	NB	ZO
PS	ZO	ZO	NS	NS	NS

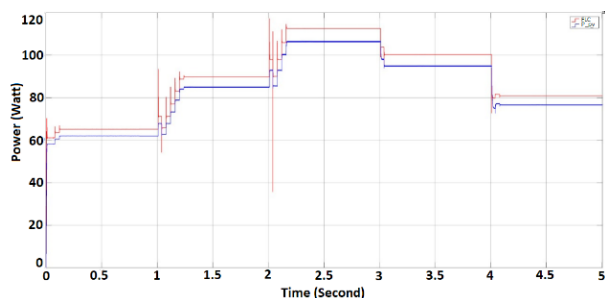
ini berguna untuk perintah di dalam program *fuzzy* yang akan dibuat. Cara menentukan perintah *output* yang akan diberikan yaitu dengan melihat nilai dari *input* yang diberikan. Ketika nilai *input* rendah, maka PWM yang diberikan PS dan PB sebesar nilai yang dapat menyebabkan nilai keluaran daya yang rendah menjadi naik, berdasarkan sinyal keluaran awal dari penggunaan metode MPPT FLC. Begitu juga sebaliknya ketika nilai tinggi atau *input* maksimal, maka *output* PWM diberikan ZO agar nilai *output* turun. Sedangkan nilai PWM NB dan NS tidak digunakan karena ketika pemberian nilai keluaran menjadi kecil. Dengan demikian proses membuat perintah dalam program *fuzzy* dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil simulasi pengujian modul surya dengan konfigurasi *boost converter* menggunakan metode MPPT FLC seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Data ini dianalisa dan dibandingkan dengan metode MPPT FLC dalam melacak daya maksimum yang mampu dihasilkan pada suhu 25°C. Besar daya yang dihasilkan dengan metode MPPT FLC sebesar 114.2W nilai tersebut sudah mendekati nilai daya maksimum yaitu 115W. Tetapi osilasi sinyal masih terlalu besar.

Aturan yang ditunjukkan pada Tabel 2 yaitu aturan *fuzzy* yang dirancang untuk melacak titik daya maksimum sel surya dalam kondisi cuaca dan suhu yang berubah karena untuk perancangannya relatif sederhana. Perancangan metode FLC yang dipengaruhi perubahan radiasi matahari dan suhu, menyebabkan osilasi di sekitar MPPT menurun dan respon yang terjadi lebih cepat. Sehingga masukan metode FLC adalah perubahan tegangan PV dan perubahan daya PV. Keluaran dari FLC adalah sinyal PWM yang diterapkan agar menghasilkan *pulse switching*.

Hasil pelacakan metode MPPT FLC menunjukkan hasil yang efektif dan akurat untuk mencapai daya maksimum saat kondisi radiasi 1000 W/m² dan suhu 25°C. *Boost*



Gambar 8. Hasil simulasi dengan metode FLC pada suhu 25°C

converter yang dirancang pada daya maksimum 115 W, tegangan titik daya 17.16 V dan tegangan keluaran yang diatur mencapai 22 V. Pelacakan MPPT berjalan dengan baik dalam kondisi atmosfer yang berbeda. Kondisi pengujian yang diterapkan dalam memeriksa tingkat efisiensi metode FLC yang diusulkan sudah sangat akurat dan efektif dalam melacak titik daya maksimum pada modul surya.

Berdasarkan grafik ditunjukkan pada Gambar 8, pelacakan daya setiap waktu berubah selama proses pelacakan. Setiap proses pelacakan tersebut daya keluaran yang naik turun menunjukkan posisi *duty cycle* yang berubah-ubah sesuai dengan perubahan *duty cycle*. Daya maksimum yang diperoleh pada kondisi maksimum yaitu 114.2 W dengan waktu pencapaian sekitar 2 detik. pada waktu tersebut nilai daya keluaran modul surya tetap, sehingga pada kondisi ini nilai *duty cycle* berkumpul pada titik yang sama pada saat keadaan maksimum.

Melalui hasil perhitungan di bawah ini, dapat diketahui nilai keakuratan mencapai 99.24% selain itu indikasi keberhasilan metode yang diamati melalui kurva keluaran daya *converter* menunjukkan bahwa daya konverter mengikuti daya keluaran modul surya sehingga dapat ditegaskan metode MPPT FLC telah berhasil melacak daya maksimum modul surya.

$$\begin{aligned} \text{Keakuratan MPPT} &= 1 - \frac{\text{Daya PV} - \text{Daya FLC}}{\text{Daya PV}} \times 100\% \\ &= 1 - \frac{115 - 114.13}{115} \times 100\% = 99.24\% \end{aligned}$$

Hasil simulasi menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan dapat mengikuti besar nilai daya maksimum modul surya. Namun, pada hasil radiasi 200 W/m², keakuratan daya hasil pelacakan dengan metode FLC sedikit lebih rendah dibandingkan dengan lainnya, dan waktu yang dihasilkan yaitu sekitar 2.5 s untuk mencapai daya maksimumnya. Hal ini bisa saja dipengaruhi oleh nilai beban dan komponen yang terpasang pada rangkaian *boost converter*. *Boost converter* memiliki batas tegangan masukan minimum dan maksimum.

Hasil perhitungan rata-rata keakuratan metode FLC pada radiasi yang bervariasi dan suhu 25°C adalah sebesar 96.40%. Selain itu metode FLC sangat akurat pada nilai radiasi 500 W/m² sampai 1000 W/m². Berdasarkan data hasil pelacakan daya maksimum pada modul surya dengan metode FLC pada kurva *P-V* berhasil mencapai nilai keakuratan rata-rata dari metode FLC pada kondisi suhu bervariasi dan radiasi 1000 W/m² yaitu 98.63%.

Sebagai perbandingan kinerja metode MPPT berbasis FLC dengan metode lainnya dapat dilihat pada Tabel 3. Perbandingan kinerja antara FLC dengan beberapa metode lainnya menunjukkan bahwa kecepatan dari metode FLC dalam melacak daya maksimum lebih cepat sebagaimana dijelaskan sebelumnya yaitu 2 s. Dalam perancangannya hanya menggunakan rangkaian sederhana dikarenakan hanya suhu dan radiasi yang diperhitungkan. Dari hasil perhitungan keakuratan menunjukkan bahwa efisiensi mencapai 99.24 % saat kondisi STC.

Tabel 3. Perbandingan performa MPPT

No	Parameter	P&O	BSA	PSO	FLC
1	Kecepatan	sedang	sedang	sedang	cepat
2	Kerumitan	sedang	kurang	tinggi	kurang
3	Memori	sedang	besar	sedang	kecil
4	Penjelajahan	cepat	sedang	kurang	cepat
5	efisiensi	kurang	kurang	sedang	tinggi

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil simulasi menunjukkan bahwa metode MPPT FLC pada kondisi *standar test commissioning* (STC) dapat menghasilkan daya sampai 99.24% atau mendekati keakuratan daya yang tertulis dari pabrikan. Sedangkan saat rata-rata kondisi radiasi bervariasi daya yang mampu dihasilkan adalah 96.40% dan saat suhu bervariasi mencapai 98.63%. Selain itu metode MPPT FLC juga mempunyai kelebihan dalam hal kecepatan, kompleksitas, penggunaan memori dan efisiensi jika dibandingkan dengan beberapa metode lainnya. Melalui penggunaan metode MPPT berbasis FLC ini diperoleh bahwa daya dari modul surya telah sepenuhnya memenuhi dan mendekati daya yang terserap ke beban. Hal ini dapat dilihat dari hasil keluaran modul surya dan keluaran dari *boost converter* yang nilainya mendekati 115W.

REFERENSI

- [1] A. D. Hansen, P. Sørensen, and L. H. Hansen, *Models for a Stand-Alone PV System*, Riso National laboratory: Roskilde, 2000.
- [2] R. Boukenoui, H. Salhi, R. Bradai, and A. Mellit, "A new intelligent MPPT method for stand-alone photovoltaic systems operating under fast transient variations of shading patterns," *Solar Energy*, vol. 124, no. 2016, pp. 124–142, Feb 2016.
- [3] S. Agarwal and M. Jamil, "A comparison of photovoltaic maximum power point techniques," in *Proc. Annual IEEE India Conference (INDICON)*, March 2016, pp. 1–6.
- [4] B. Amri and M. Ashari, "The Comparative Study of Buck_Boost, Cuk, Sepic and Zeta Converter for Power Point Tracking Photovoltaic Using P & O Method," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Inf. Technol. Commun. and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 2015, pp. 327–332.
- [5] J. S. Kumari, D. C. S. Babu, and A. K. Babu, "Design and analysis of P&O and IP&O MPPT techniques for photovoltaic system," *Int. J. Mod. Eng. Research*, vol. 2, no. 4, pp. 2174–2180, August 2012.
- [6] Y. Y. Hong, P. M. P. Buay, and A. A. Beltran, "Maximum power point tracking of photovoltaic system using taguchi-based fuzzy logic control," in *Proc. IEEE Milan PowerTech*, June 2019, pp. 1–6.
- [7] U. S. Ali, "Z-source DC-DC converter with fuzzy logic MPPT control for photovoltaic applications," *Energy Procedia*, vol. 90, no. 2016, pp. 163–170, Dec 2016.
- [8] A. N. R. Ahmed, K. Nowaz, J. Tasnim, and N. Afroz, "Efficient PV array modelling by analyzing PV system (cell/module/array) based on MATLAB," in *Proc. 2nd Int. Conf. Electr. Inf. Commun. Technol. (EICT)*, Jan 2016, pp. 492–497.
- [9] K. W. D. Kartini and Z. Noviard, "Penerapan inferensi fuzzy untuk kendali suhu ruangan pada pendingin ruangan (AC)," in *Proc. Seminar Nasional Informatika (semnas IF)*, May 2010, pp. 22–27.
- [10] P. Singhala, D. Shah and B. Patel, "Temperature control using fuzzy logic," *Int. J. Instrum. Control Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, Jan 2014.