ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

PENINGKATAN EFISIENSI SOLAR SEL MENGGUNAKAN TEKNOLOGI MPTT (MAXIMUM POWER POINT TRACKING) BERBASIS FUZZY-INCREMENTAL CONDUCTANCE)

Machmud Effendy*[1], Nuralif[2], Khusnul Hidayat[3]
[1,2,3]Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak person:
Machmud Effendy, Nuralif, Khusnul Hidayat
e-mail: machmud@umm.ac.id[*1], nuralif@umm.ac.id[2], khusnul@umm.ac.id[3]

Abstrak

MPPT adalah sebuah teknologi untuk memaksimalkan daya listrik solar sel. Terdapat dua bagian utama dalam teknologi MPPT yaitu rangkaian DC-DC Converter dan algoritma kontrol. Dalam penelitian ini kami menggunakan rangkaian DC-DC converter jenis Synchronous Buck Converter dan Algoritma kontrol Fuzzy-Incremental Conductance (Fuzzy-IC). Synchronous Buck Converter memiliki rugi-rugi arus yang lebih kecil dibandingkan dengan Buck Converter. Algoritma Fuzzy-IC merupakan gabungan antara algoritma Fuzzy dan algoritma IC. Sehingga algoritma Fuzzy-IC memiliki kecepatan dan ketepatan yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma kontrol sebelumnya dalam menentukan titik maksimal solar sel. Dalam peneltian ini, kami membuat dan mengimplemetnasikan MPPT menggunakan solar sel sebesar 50 Watt Peak, batterai 12V/45Ah dan beban listrik berupa resistor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MPPT menggunakan algoritma Fuzzy-IC memiliki efisiensi 89%, dan MPPT dengan algoritma IC memiliki efisiensi 87%.

Kata kunci *: Fuzzy, Incremental Conductance ,MPPT,Photovoltaic*

1. Pendahuluan

Saat ini, kebutuhan manusia akan energi listrik semakin meningkat. Di sisi lain, jumlah bahan bakar fosil semakin berkurang. Sumber energi terbarukan seperti energi surya semakin banyak digunakan dalam pembangkitan energi listrik. Sel surya menjadi salah satu pembangkit listrik dengan energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan karena tidak menimbulkan suara dan emisi serta membutuhkan biaya perawatan yang rendah. Pada akhir tahun 2010, tercatat 35 GW sistem PLTS telah terpasang di negara yang tergabung dalam *International Agency Photovoltaic Power Systems Programme* (IEA PVPS). Akan tetapi, panel solar sel memiliki biaya fabrikasi yang tinggi dengan efisiensi konversi energi yang rendah. Oleh karena itu, sistem PV harus dirancang untuk beroperasi pada daya keluaran maksimum [1].

Daya yang dihasilkan sel surya bergantung pada iradiasi matahari dan suhu lingkungan. Untuk dapat menghasilkan daya maksimum pada setiap kondisi iradiansi matahari dan suhu, diperlukan penerapan algoritma MPPT. Algorima MPPT pada umumnya dieksekusi oleh konverter DC-DC sebagai penghubung antara PV dengan beban [2]

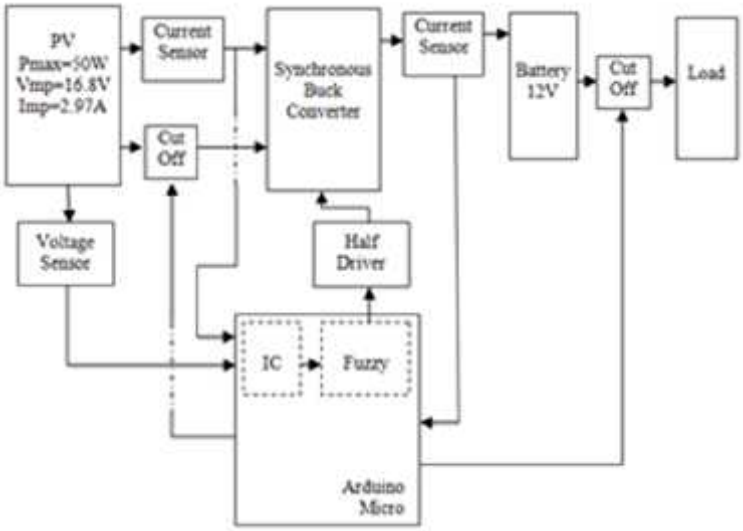
Ada beberapa algoritma kendali MPPT yang dapat digunakan untuk mempertahankan solar sel pada titik daya maksimumnya, sebagai contoh, algoritma Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance (IC). Dibandingkan dengan algoritma IC, algoritma P&O memiliki tingkat konvergensi yang lebih cepat untuk mencapai titik MPP (maximum power point). Akan teapi algoritma P&O memiliki tingkat osilasi yang tinggi saat mencapat steady state.[3]

Penggunaan algoritma IC mengurangi tingkat osilasi saat mencapat titik daya maksimum dan lebih stabil saat terjadi perubahan cuaca [4][5]. Algoritma MPPT lainnya adalah Fuzzy Control.[6][7][8] Penggunaan fuzzy control lebih sesuai untuk MPPT dibandingkan dengan algoritma konvensional seperti P&O dan IC [9]. Salah satu rangkaian utama dalam MPP adalah DC-DC converter, rangkaian ini mampu mengalirkan arus dari solar sel ke beban dengan mengatur nilai duty cycle saat terjadi perubahan beban listrik [10]. Beberapa jenis rangkaian DC-DC converter yang umum digunakan untuk MPPT antara lain buck converter, boost converter, buck-boost converter, cuk converter, full bridge converter.[11]

Penelitian ini mengintegrasikan antara algoritma Fuzzy dan IC. Algoritma IC berfungsi untuk menentukan titik MPP dan algoritma fuzzy digunakan untuk mengatur nilai duty cycle yang dibutuhkan rangkaian buck converter. Dengan menggunakan algoritma Fuzzy-IC yang diterapkan pada MPPT, diharapkan sistem solar sel memiliki efisiensi yang lebih baik.

2. Metode

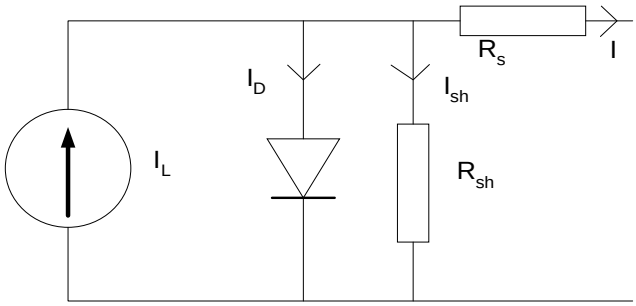
Gambar 1 menunjukan diagram blok keseluruhan sistem MPPT yang akan dikaji dalam penelitian ini. Sistem MPPT ini terdiri dari solar sel (*photovoltaic*), *synchronous buck* converter , battery, beban resistif, dan Arduino Micro sebagai komponen kontrolnya. Rangkaian *cut-off* juga ditambahkan pada sistem MPPT, yang berguna untuk mencegah arus balik dari battery ke panel surya saat tegangan panel surya dibawah tegangan battery.[12]



Gambar 1. Sistem MPPT Pada Solar Sel

2.1 Panel Surya (Photovoltaic)

Model matematik dikembangkan untuk menirukan karakter panel PV. **Gambar 2** berikut ini menunjukan model panel solar sel.[13]



Gambar 2. Model Panel Solar Sel

Persamaan dasar dari panel solar sel ditunjukan oleh Persamaan (1) berikut [14]:

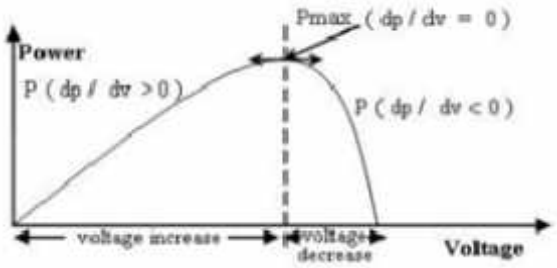
$$I = I_L - I_D\left[e^{q\left(\frac{V+IR_S}{nkT}\right)} - 1\right] - \left(\frac{V + I \cdot R_S}{R_{sh}}\right) \quad (1)$$

Keterangan:

- I adalah arus *output* PV (A).
- I_L adalah arus yang terbangkit pada PV (A).
- I_D adalah arus saturasi dioda.
- q adalah muatan elektron = 1.6×10^{-19}(C).
- K adalah konstanta Boltzman (j/K).
- T adalah temperatur sel (K).
- R_s adalah resistansi seri sel (Ohm).
- R_{sh} adalah resistansi shunt (Ohm).
- V adalah tegangan *output* PV (V).

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Daya keluaran PV sangat tergantung pada tingkat irradiasi matahari, saat irradiasi matahari naik, maka daya output PV juga akan naik. Akan tetapi, saat daya keluaran PV semakin besar sampai mencapai nilai tegangan tertentu (dp/dv=0), maka daya keluaran PV akan turun, seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik P-V pada PV

Penelitian ini hanya menggunakan satu buah panel solar sel dengan parameter sebagai berikut: daya maksimal P_{MAX}=50W, tegangan maximum point V_{MP}=16.8W, arus maximum point I_{MP}=2.97A, tegangan open circuit V_{OC}=21V, dan arus short circuit I_{SC}=3.23A.

2.2 Synchronous Buck Converter

Konverter daya jenis buck atau sering disebut regulator step-down, rata-rata tegangan keluaran V_{out} lebih kecil daripada tegangan masukan V_{in}. Rangkaian dasar buck converter ditunjukan pada Gambar (a). Konverter sinkron buck (*synchronous buck converter*) seperti pada Gambar (b) adalah modifikasi dari rangkaian dasar konverter buck, dimana dioda diganti dengan saklar.[15].

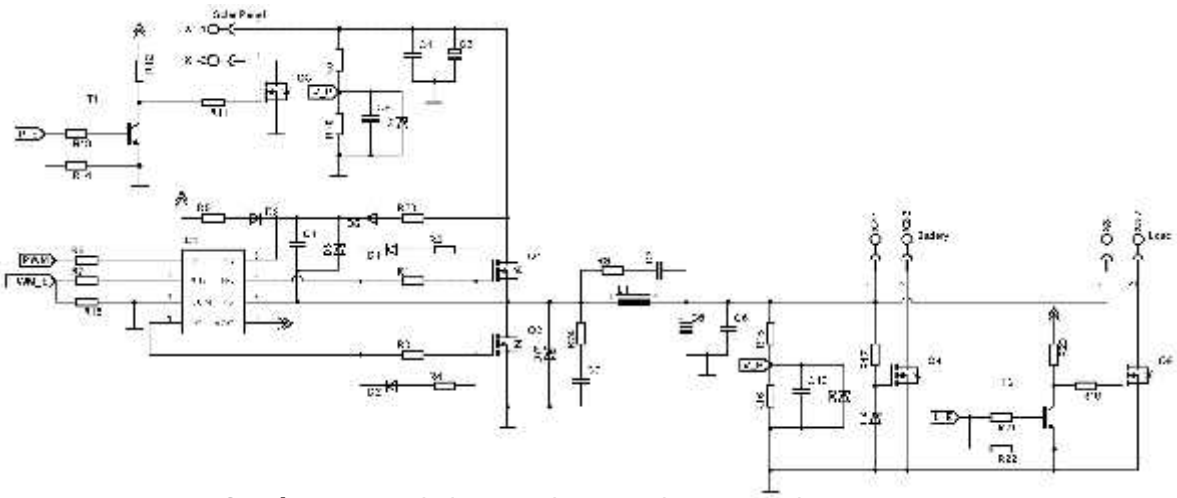
(a) (b)

Gambar 4. Rangkaian konverter buck: (a) *buck* sederhana
(b) *synchronous buck*

Dengan mengganti dioda dengan saklar SW_2 akan mengurangi rugi-rugi daya pada konverter, maka efisiensi konverter akan meningkat. Sebagai contoh, MOSFET dengan R_{DSON} yang sangat kecil untuk SW_2 akan memperkecil rugi-rugi daya.[16][17].

Synchronous buck converter, sebagaimana ditunjukan pada Gambar gambar 4, digunakan untuk mengkontrol aliran daya dari panel PV ke beban pada penelitian ini. Daya maksimum pada panel PV dapat dicapai dengan cara mengatur rasio *duty cycle* pada konverter. Mengingat bahwa tujuan dari penelitian ini adalah untuk memaksimalkan keluaran daya dari sistem PV, maka parameter konverter dipilih untuk mengoperasikan konverter dalam mode konduksi secara kontinyu. Parameter-parameter terebut adalah L=68uH , dan C=2200uF. Frekuensi *switching* PWM adalah 50 kHz. Untuk mempermudah pengendalian saklar pada sisi tinggi SW_1 dapat digunakan MOSFET tipe *P-Chanel*, tapi karena tujuan utama dalam penelitian adalah meningkatkan efisiensi tranfer daya pada sistem panel surya, maka untuk saklar *SW1* dipilih MOSFET tipe *N-Channel* yang memiliki R_{DSON} lebih kecil jika dibandingkan dengan tipe *P-Channel*, jadi untuk kedua saklar konverter menggunakan MOSFET tipe *N-Chanel* yaitu IRFZ44.

Mosfet Q_1 dan Q_2 dikendalikan oleh *IC half-bridge driver* yaitu *IR2184*, *IC* driver ini dapat memperkecil rugi-rugi daya saat perpindahan switching dari Q_1 ke Q_2, seperti yang ditunjukan pada gambar 4. Mosfet Q_3 dan Q_5 berfungsi sebagai rangkaian pemutus (*cut-off*), jika tegangan terminal panel surya lebih kecil dari tegangan terminal battery, maka Q_3 dimatikan oleh T_1, dan jika tegangan battery saat terbuka V_{OC}<12,1V maka Q_5 akan dimatikan oleh T_2.

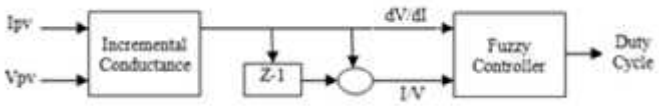


Gambar 5. Rangkaian Lengkap Synchronus Buck Converter

2.3 Algoritma Fuzzy-IC

Penelitian ini menggunakan algoritma gabungan antara Increment Conductance (IC) dan Fuzzy Logic Control (FLC) untuk merancang kontroler MPPT. Kontroller sistem MPPT menggunakan tegangan dan arus panel PV sebagai variabel masukan yang akan digunakan untuk menghitung duty-cycle agar mendapatkan daya maksimal pada panel PV.

Blok diagram sistem Fuzzy-IC ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Diagram Kontrol Fuzzy-IC

Dengan algoritma IC, titik MPP dapat ditentukan berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada gambar 3, jika dP/dV bernilai negatif, maka MPPT berada pada sisi sebelah kanan dari posisi saat ini, sedangkan jika dP/dV bernilai positif, maka MPPT berada di sisi sebelah kiri. . Persamaan algoritma IC sebagai berikut:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V.I)}{dV} = I.\frac{dV}{dV} + V\frac{dI}{dV}$$

$$= I + V\frac{dI}{dV} \qquad (10)$$

Titik maksimum daya pada PV terjadi saat dP/dV=0 dan

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \qquad (11)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \; maka \; V_P < V_{mpp} \qquad (12)$$

$$\frac{dP}{dV} = 0 \; maka \; V_P = V_{mpp} \qquad (13)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \; maka \; V_P > V_{mpp} \qquad (14)$$

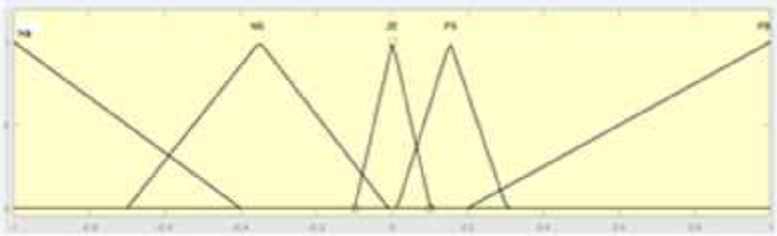
ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Untuk menentukan daya keluaran PV, maka diperlukan perhitungan daya berdasarkan keluaran tegangan dan arus PV menggunakan algoritma Fuzzy.

Algoritma fuzzy mempunyai dua input yaitu dV/dI dan I/V, dan mempunyai satu keluaran yaitu duty cycle untuk mengatur MOSFET pada rangkaian synchronous buck converter.
Algoritma fuzzy memiliki 3 bagian yaitu: fuzzification, rule base dan defuzzification.

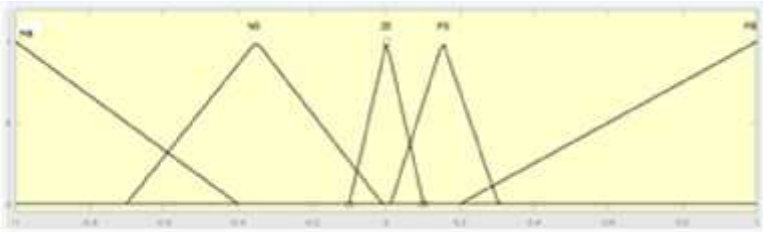
A. Fuzzification

Gambar 7 mengilustrasikan fuzzy set dari input dI/dV yang terdiri dari 5 membership function.



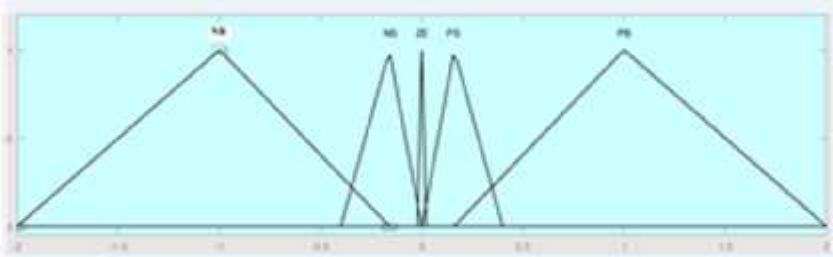
Gambar 7. Membership function dI/dV

Gambar 8 mengilustrasikan fuzzy set dari input I/V yang terdiri dari 5 membership function.



Gambar 8. Membership function I/V

Gambar 9 mengilustrasikan fuzzy set dari ouput duty cycle yang terdiri dari 5 membership function.



Gambar 9. Membership function duty cycle

B. Control rule base

Rule base fuzzy ditunjukkan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Fuzzy Rules

Fuzzy Rules		**dI/dV**				
		NB	NS	ZE	PS	PB
I/V	NB	NB	NS	ZE	PS	PB
	NS	NS	NS	ZE	PS	PS
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	PS	PS	ZE	NS	NS
	PB	PS	PS	ZE	NS	NB

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

C. Defuzzification

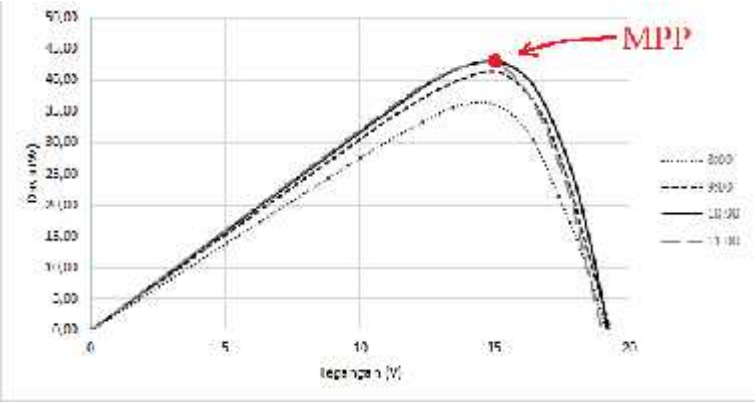
Proses defuzzification menggunakan metode centre of gravity untuk menghitung keluaran fuzzy yaitu duty cycle (D):

$$D = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu(d_j) - d_j}{\sum_{j=1}^{n} \mu(d_j)}$$

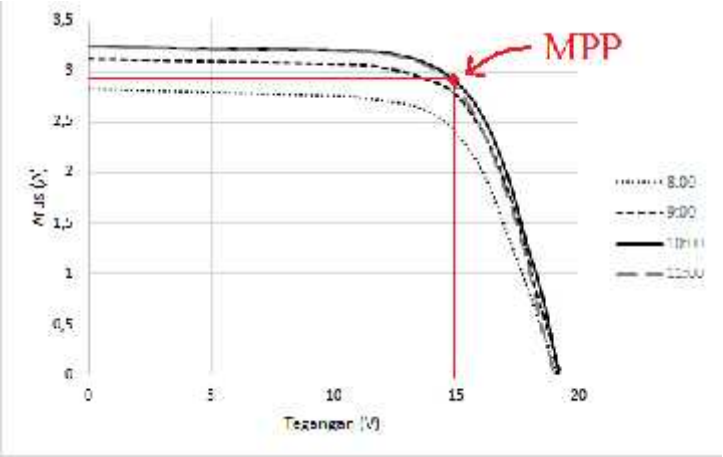
3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1. Pengujian Karakeristik Panel Surya

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik panel surya yang akan digunakan pada sistem MPPT. Pada pengambilan data arus dan tegangan, terminal panel surya dihubungkan dengan beban resistif yang berbeda-beda dan pada saat matahari tidak tertutup awan samasekali. Gambar 10 merupakan hasil pengujian panel surya, pada gambar 10(a) menunjukkan maksimal daya yang dihasilkan panel surya adalah 44,5 Watt dan *Maximum Power Point* (MPP) pada saat tegangan terminal panel surya sebesar 14,9 V dan arus sebesar 2,85 A.



(a)



(b)

Gambar 10. Hasil Pengujian Karakteristik panel surya: (a) P-V; (b) I-V

3.2 Pengujian Sensor Tegangan dan Arus

Pengujian sensor tegangan dan arus dilakukan untuk mengetahui performa dari tiap sensor. Pembandingnya adalah multimeter digital DEKKO-86D. Sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan, sedangkan untuk sensor arus menggunakan ACS712-5 yang memilik tingkat sensitifitas sebesar 185mV/A. Pada pengujian sensor tegangan dan arus yang terlihat pada tabel 2 dan tabel 3 didapatkan hasil yaitu rata-rata error pada sensor tegangan adalah 0,47% dan rata-rata error pada sensor arus adalah 1,41%

.

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

Gambar 11.Hasil pengujian sensor tegangan

Voltage of Multimeter (V)	Voltage of Sensor (V)	Error
12	12,1	0,83%
12,99	13	0,08%
14	14,1	0,71%
15,23	15,3	0,46%
16,07	16,1	0,19%
17,11	17,1	0,06%
18,28	18,1	0,98%
The Average Error		0,47%

Gambar 12 .Hasil pengujian sensor arus

Current of Multimeter (A)	Current of Sensor (A)	Error
0,49	0,51	3,92%
1,04	1,06	1,89%
1,5	1,5	1,32%
2,06	2,04	0,98%
2,53	2,54	0,39%
3,06	3,05	0,33%
The Average error		1,41%

3.3 Pengujian Synchronous Buck Converter

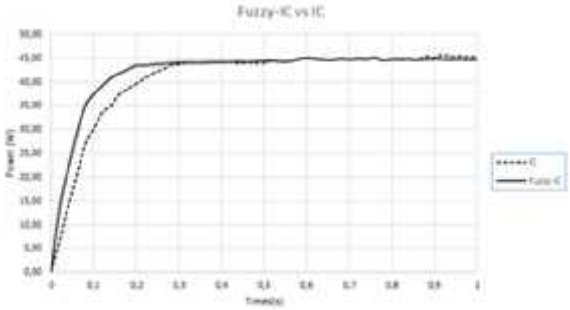
Pengujian *synchronous buck converter* dilakakukan untuk mencari nilai efisiensi konverter dengan mengubah nilai duty-cycle dan dengan beban resistif tetap yaitu 3,9 Ohm. Tabel 4 menunjukkan bahwa efisiensi *synhcronous buck converter* sangat tinggi pada saat *duty-cycle* mendekati 100%. Pengujian ini tidak termasuk rangkaian *cut-off* pada panel surya dan beban.

Gambar 13. Tabel Hasil pengujian synchronous buck konverter

Duty Cycle(%)	Vi(V)	Ii(A)	Vo(V)	Io(A)	Pi(W)	Po(W)	Efficiency(%)
50	18,4	1	8,3	1,8	18,7	14,6	78,1
60	18,3	1,3	10,1	2,1	24,7	20,9	84,6
70	18,3	1,7	11,9	2,4	31,2	28,4	91
80	18,1	2,1	13,6	2,7	38,3	36,4	95
90	17,7	2,6	15,1	3	45,7	45	98,5
95	17,3	2,8	15,7	3	48,3	47,7	98,8

3.4 Pengujian Sistem MPPT

Beban yang digunakan untuk pengujian ini adalah battery NiCad (Calcium) dengan tegangan nominal 12V dan kapasitas sebesar 45Ah. Sebelum proses pengujian, panel surya sebesar 50W diletakkan ditempat teduh agar temperatur panel surya tidak terlalu tinggi sehingga MPP bisa didapat semaksimal mungkin. Pengujian dilakukan pada saat pukul 12:00 WIB saat matahari tidak terhalang oleh awan. Hasil pengujian pada gambar 12, dapat dilihat bahwa sistem MPPT dengan teknik IC daya charging rata-rata setelah waktu tunak adalah 43,3 Watt, dan jika menggunakan sistem MPPT dengan teknik Fuzzy-IC, daya charging rata-rata setelah waktu tunak dapat mencapai 44,6 Watt, dengan waktu naik (*rise time*) sebesar 0.15 detik dan tidak terjadi *overshoot*



Gambar 14. Grafik perbandingan antara algoritma Fuzzy-IC dan IC

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem solar sel mengggunakan teknologi MPPT dapat meningkatkan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel PV. Dengan menggunakan sumber panel surya sebesar 50 Watt, sistem PV menggunakan teknologi MPPT berbasis IC mampu menghasilkan daya listrik sebesar 43.3W atau memiliki efisiensi sebesar 87%, sedangkan sistem PV menggunakan MPPT berbasis Fuzzy-IC menghasilkan daya listrik sebesar 44.6W atau efisien sebesar 89%. Metode Fuzzy –IC juga memliki waktu naik sebesar 0.15 detik.

Referensi

[1] Z. Salameh and D. Taylor, : *Step-up Maximum Power Point 'Ikacker for Photovoltaic Arrays,* Solar Energy, V01.44, No.1, pp.57-61,1990

[2] V.C Kotak,Preti Tyagi, *DC to DC Converter in Maximum Power Point Tracker, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol.2, pp 6115-6125, Dec 2013.

[3] VR Bharambe, KM Mahajari, *Implementation of P&O MPPT for PV System with using Buck dan Boost Converters*, International Journal of Research in Electrical Engineering, Vol.2, pp.5-10, March 2015

[4] Rophika Samson,*Comparative study of P&O and Incremental Conductance MPPT algorithms for Photovoltaic System*, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, Vol. 5. Jan 2016 pp.200-206

[5] Ratna Ika, Sapto Wibowo, *Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Using Incremental Conductance Method*, 2nd International Conference on Sustanable Energy Engineering and Application, pp. 22-30, 2014

[6] Roshan Rajiv, YadavYatendra, S Umashankar, DP Kothari, *Modeling and Simulation of Incremental Conductance MPPT Algorithm Based Solar Photovoltaic System Using CUK Converter*, International Conference on Energy Efficien Technology For Sustainability (ICEETS), , Des 2013.

[7] Qin Shihong, Wang Min, Chen T, Yao X, *Comparative Analysis of Incremental Conductance and Perturb –and-Observation Methods to Implement MPPT in Photovoltaic System*, International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), Apr 2011.

[8] Balamurugan T, Manoharan S, *Fuzzy Controller Design Using Soft Switching Boost Converter For MPPT in Hybrid System*, International Journal of Soft Computing and Engineering, Vol.2, pp. 87-94, May 2012

[9] G. Y. Ayvazyan, G. H. Kirakosyan, and A. H. Vardanyan, "Maximum Power Operation Of PV System Using Fuzzy Logic Control," Armenian Journal of Physics , Vol. 1, pp. 155-159, 2008

[10] RatnaIka P & M. Rifa'I, *Maximum Power Point Tracking Control For Photovoltaic Using Neural Fuzzy*, International journal of Computer and Electrical Engineering Vol.4 No. 1, 2011.

[11] Suwannatrai P, Liutanakul P, Wipasuramonton, *Maximum power Point Tracking by Incremental Conductance Method For Photovoltaic System With Phase Shifted Full Bridge dc-dc Converter*, The 8th Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand-Conference, 2011.

[12] Jose Formenti, Robert Martinez, "Design Trade-offs for Switch-Mode Battery Chargers," Texas Instruments Incorporated. 2004.

[13] El-Ashry,M. "Renewables 2010 Global Status Report", (Paris: REN21 Secretariat). Copyright Deutsche (GTZ) GmbH. 2010

[14] Villalva,M. Gazoli,J. and Ruppert ,E. "Modeling and Circuit-Based Simulation of Photovoltaic arrays". IEEE transactions on power electronics, VOL. 24 NO 5. May 2009

ISSN (Cetak) 2527-6042
eISSN (Online) 2527-6050

[15] K.I. Hwu, Y.T. Yau, “KY converter and its derivative,” *IEEE Transaction on Power Electronics*, 24, pp.128-137, 2009.
[16] F.L. Luo, H. Ye, “Positive Output Super-Lift Converters,” *IEEE Transaction on Power Electronics*, 18, pp. 105-113, 2003.
[17] R. Giral, E. Arango, J. Calvente and L. Martinez-Salamero, "Inherent DCM Operation of the Asymmetrical Interleaved Dual Buck-Boost," *Proceeding IEEE IECON’02*, 1, pp. 129-134, 2002.