

Desain MPPT Berbasis Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Terbang Tanpa Awak Bertenaga Surya

Heri Suryoatmojo, Fahad Al Hazmi, D.C. Riawan, Ronny Mardiyanto

Departemen Teknik Elektro - ITS, Surabaya

Jl. Arif Rahman Hakim, Sukolilo, Surabaya 60112

Email: suryomgt@gmail.com

ABSTRAK

Panel surya merupakan media untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Selain digunakan secara konvensional sebagai sumber energi listrik, panel surya dapat diaplikasikan sebagai sumber utama energi listrik pada pesawat terbang tanpa awak. Panel surya menghasilkan energi listrik yang berfluktuasi mengikuti besarnya iradiansi dan temperatur sekitar. Berdasarkan karakteristik panel surya, jika dioperasikan pada keadaan normal maka daya yang dibangkitkan dari panel surya tidak akan maksimal. Supaya daya yang dibangkitkan dari panel surya maksimal, maka diperlukan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Pada pesawat tanpa awak, iradiansi matahari nilainya berubah dengan sangat cepat, sehingga MPPT konvensional kurang efisien karena memiliki respon yang lambat serta memiliki osilasi pada saat berada pada kondisi daya maksimal. Pada penelitian ini akan dirancang dan diimplementasikan sistem MPPT dengan kontrol logika fuzzy. Kontrol logika fuzzy dapat mempercepat respon sistem terhadap perubahan beban, serta mengurangi osilasi yang terjadi pada daya maksimum. Konverter, sebagai aktuator dari pengkondisi tegangan akan dipilih yang memiliki berat ringan mungkin sehingga tidak akan menambah beban kerja dari pesawat. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa MPPT berbasis logika Fuzzy mempunyai respon yang lebih cepat dibandingkan dengan metode *hill climbing*.

Kata Kunci: Fuzzy Logic, Hill Climbing, MPPT, Panel Surya

ABSTRACT

Solar panel is a technology that convert solar energy into electrical energy directly, this technology has an abundant resource and environment friendly. Solar panel technology if utilized thoroughly could reduce emission from combustion machine up to 92%. This technology has a great potential for powering in flying devices like Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Solar panel is non linear energy which power output varied according to irradiance and surrounding temperature. If solar panel connected directly to load, power generated cannot be maximum, because of solar panel characteristic curve. To optimize the power Maximum Power Point Tracker (MPPT) is necessary. MPPT is a method which optimize the power by controlling current flowing from solar panel. In UAV irradiance change quickly so conventional MPPT is not efficient because it needs lot of time to track the maximum power and hen the system oscillate when reach MPP. In this research MPPT with Fuzzy logic control will be designed and implemented. Fuzzy logic control can increase tracking time and also reduce system oscillation in MPP. Converter which is actuator of MPPT will be designed to have small dimension as possible that will reduce aircraft load. Based on experiment its proven that Fuzzy Logic Control MPPT has higher efficiency than Hill Climbing MPPT.

Keyword: MPPT, Fuzzy Logic, Hill Climbing, MPPT, Solar Panel.

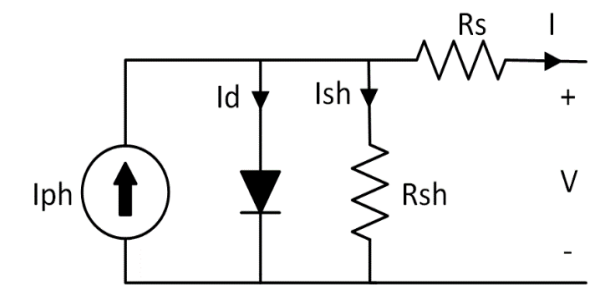
I. PENDAHULUAN

Panel surya menjadi pusat perhatian dikarenakan dipercaya panel surya merupakan sumber energi yang bersih dan melimpah. Dengan mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, sel surya merupakan sumber energi terbarukan dan rendah emisi. Sel surya dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan konvensional sebesar 92% [1]. Sayangnya, panel surya adalah sumber energi non linier yang daya outputnya berubah bergantung pada iradiansi dan temperatur sekitar. Untuk memanfaatkan daya panel dengan maksimal, tegangan dari panel surya harus dikondisikan karena sel surya memiliki grafik karakteristik antara tegangan, daya dan arus. Pengondisian pada umumnya menggunakan konverter yang dikontrol algoritma yang disebut Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT akan mengkondisikan tegangan panel agar panel selalu bekerja pada kondisi optimal. Jenis algoritma MPPT yang umum digunakan ialah metode Perturb and Observation, yang kontrolnya mudah, tetapi tidak efisien dari segi waktu dan memiliki rugi rugi besar. Kekurangan dari metode ini ialah saat steady State, nilai daya output beresilasi di sekitar titik puncak daya sehingga memiliki rugi rugi yang cukup besar. Besarnya step tracking oleh P&O mempengaruhi kecepatan tracking dan akurasi. Saat step dari tracking diperkecil, akurasi dari pelacakan nilai puncak akan meningkat, namun kecepatan pelacakan titik puncak akan melambat, begitu pula sebaliknya.

Pada penelitian ini akan didesain MPPT dengan kontrol logika Fuzzy. Dengan diimplementasikannya kontrol logika fuzzy diharapkan akan didapat duty cycle pensaklaran yang bervariasi bergantung pada kondisi dari panel surya serta kondisi pada beban. Dengan diterapkannya metode ini maka akan didapatkan waktu tracking panel surya yang lebih cepat.

Photovoltaic merupakan sebuah material yang dapat mengubah energi dari foton menjadi energi listrik. Foton dengan panjang gelombang yang cukup pendek dapat melepaskan ikatan elektron dari suatu atom. Elektron tersebut dapat mengalir pada suatu konduktor dan menjadi arus listrik. Energi untuk melepaskan ikatan tersebut didapat dari matahari, hal ini merupakan peluang yang cukup besar mengingat permukaan bumi menerima energi sebesar 6000 kali lipat dari total kebutuhan energi setiap harinya [2].

Sebuah PV modul dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian ekuivalen yang terdiri dari sumber arus, diode, serta hambatan internal yang direpresentasikan oleh resistor seperti yang tersusun pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Panel Surya

persamaan yang menghubungkan nilai arus dan tegangan yang keluar dari panel surya adalah:

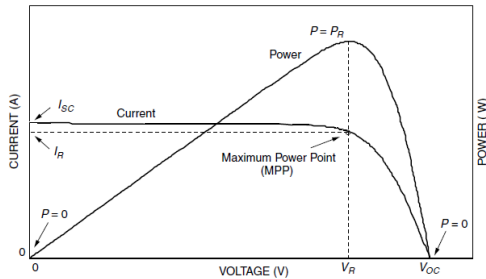
$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

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. Titik operasi dari Panel bergerak dari resistansi nol yang menyebabkan Isc ke resistansi tak hingga yang menyebabkan muncul Voc [3].

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

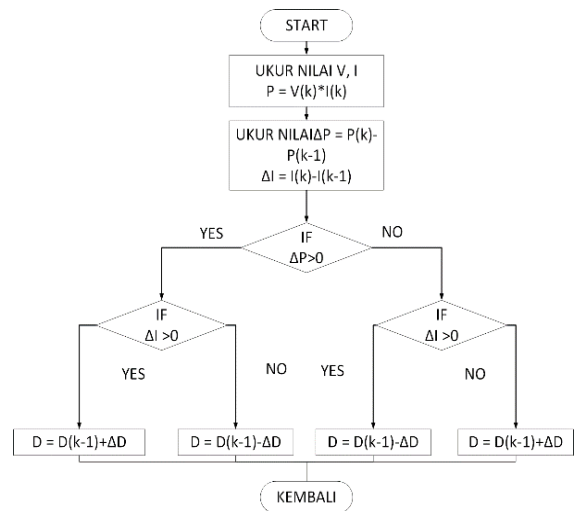
ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X



Gambar 2. Kurva Karakteristik Panel Surya

Daya maksimum berada pada titik dimana perkalian antara tegangan dan arus berada pada titik tertinggi, pada Gambar 2 dapat dilihat panel surya bekerja pada daya maksimum ketika tegangan panel mencapai V_R . Untuk mencapai daya maksimum dapat dicapai dengan mengatur pembebanan. Dengan mengatur pembebanan maka arus yang mengalir pada rangkaian akan dapat dikondisikan sehingga tegangan panel juga terkondisikan.

Diperlukan algoritma MPPT untuk mencapai daya maksimum dari panel surya. Dikarenakan iradians matahari dan pembebanan berubah ubah maka diperlukan algoritma yang dapat menyesuaikan daya. Algoritma yang paling banyak digunakan untuk optimasi daya adalah algoritma Hill Climbing. Algoritma Hill Climbing bekerja dengan cara mengubah duty cycle dari converter dan memperhatikan efeknya terhadap daya keluaran panel surya. Metode ini banyak digunakan karena aplikasinya yang sederhana serta biaya implementasinya yang murah. Pengambilan keputusan didasarkan pada dua hal, perubahan daya dan perubahan arus, ketika daya dan arus keduanya berubah kearah yang lebih besar maka duty cycle akan terus diperbesar, namun ketika berlaku sebaliknya duty cycle akan dikurangi [4]. Flowchart dari metode hill climbing dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Hill Climbing

Sistem MPPT hill climbing konvensional masih memiliki kekurangan yaitu dalam hal kecepatan sistem untuk melacak dimana titik MPP berada serta adanya osilasi yang cukup besar pada titik MPP sehingga daya yang dihasilkan kurang halus. Hal tersebut dikarenakan penggunaan algoritma yang masih konvensional sehingga daya yang dihasilkan belum bisa mencapai steady state.

Untuk mengatasi kekurangan tersebut digunakan kontrol logika fuzzy. Kontrol logika fuzzy diharapkan dapat mempercepat waktu pelacakan daya maksimum serta mengurangi osilasi daya. Dalam menghadapi cuaca yang berubah ubah secara tidak linier, logika fuzzy dapat mengambil keputusan dengan baik [5]. Logika fuzzy berbeda dengan logika biner, dikarenakan output bukan merupakan 0 atau 1 seperti biner, melainkan akumulasi keanggotaan variable input dalam Membership Function sehingga nilai output akan bergantung pada rule yang menghubungkan input serta pembobotan pada setiap membership function. Membership function dari logika fuzzy merupakan batas batas dimana nilai tersebut diklasifikasikan, suatu nilai bisa saja masuk kedalam dua atau lebih suatu klasifikasi.

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

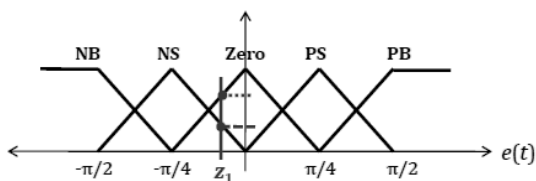
ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

Tabel 1. Parameter Buck Converter

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Input maks	20	Volt
2.	Tegangan Output	12	Volt
3.	Daya output	100	Watt
4.	Frekuensi Switching	10k	Hz
5.	Ripple Arus	30	%
6.	Ripple Tegangan	5	%

Kontrol logika fuzzy terdiri dari tiga tahap, fuzzifikasi, inferensi dengan rule, dan defuzzifikasi. Pada proses fuzzifikasi input dalam bentuk crisp dikonversi menjadi variabel linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan. Umumnya keanggotaan terdiri dari lima level yaitu NB(negative big), NS(negative small) Z(zero), PS (positive small), and PB(positive big). Setelah nilai crisp dari input sudah dikonversi menjadi variabel linguistik, fungsi keanggotaan dari output akan ditentukan berdasarkan rule yang berisi kombinasi antara input dan output. Rule didasarkan pada karakteristik dari sistem. Pada proses defuzzifikasi output yang berbentuk variabel linguistik dikonversi menjadi *crisp* kembali. Output *crisp* inilah yang akan digunakan untuk pensaklaran mosfet pada MPPT. [6]

Seperti digambarkan pada Gambar 4. Adanya perpotongana dari nilai tersebut akan berpengaruh terhadap nilai output dari logika fuzzy.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan pada Logika Fuzzy

Jika dibandingkan dengan metode P&O, logika fuzzy memiliki waktu pendeteksian MPP yang lebih cepat, serta fluktuasi dari dayanya lebih kecil [2]. Cara kerja dari kontrol logika fuzzy adalah sensor akan mendeteksi arus dan tegangan yang masuk ke konverter, input dari sensor akan diolah menjadi daya dan arus. Variabel pertama adalah perubahan daya waktu, dengan variable kedua merupakan perubahan arus terhadap waktu. Kedua variable tersebut akan diolah oleh mikro controller dengan membandingkannya dengan *Membership Function* hasil dari perbandingan tersebut akan dikaitkan dengan rule yang mengatur output berupa *duty cycle*. Output ini akan dimasukkan ke *driver* Mosfet pada konverter sehingga *Duty Cycle* dari converter bisa mengkondisikan daya. Dikarenakan output bergantung pada nilai variable 1 dan 2, maka besarnya perubahan dengan menggunakan logika fuzzy lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional.

II. METODE

A. Desain Buck Converter

Desain onverter dimulai dengan penentuan range tegangan kerja dari sistem serta besarnya beban maksimal. parameter ini akan berpengaruh pada besarnya nilai induktor, kapasitor serta komponen lainnya. Desain juga berpatokan pada peralatan pendukung yang tersedia di laboratorium.

Tegangan input maksimal dipilih 20 Volt mengacu pada *open circuit voltage* dari panel surya. Sedangkan tegangan output direncanakan 12 volt menyesuaikan dengan tegangan baterai. Dengan tegangan output 12 V dan daya rating 100 W.

Dengan parameter yang telah dipilih maka akan didapatkan parameter

Tabel 2. Parameter Komponen

No.	Parameter	Nilai	Satuan
-----	-----------	-------	--------

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

1.	Arus Rangkaian	8.33	Amper
2.	Induktor	288 u	Henry
3.	Kapasitor	833 u	Farad

B. Desain kontrol logika Fuzzy

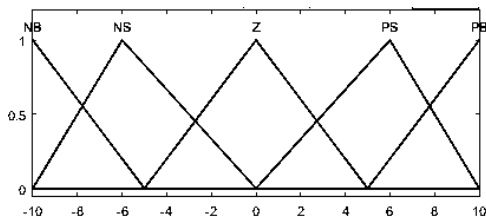
Sistem MPPT Fuzzy panel surya terdiri dari dua input dan satu output. Dimana input tersebut merupakan besarnya error serta perubahan error dari pelacakan daya. Output fuzzy logic adalah berupa perubahan duty cycle yang digunakan untuk pensaklaran mosfet.

$$Error = \frac{P(t) - P(t-1)}{V(t) - V(t-1)} \quad (2)$$

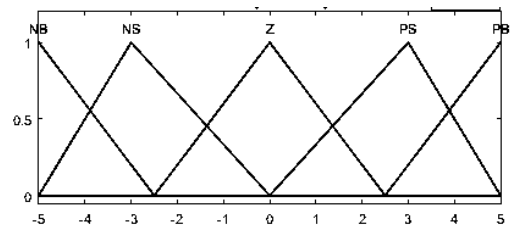
$$\Delta Error = Error(t) - Error(t - 1) \quad (3)$$

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.

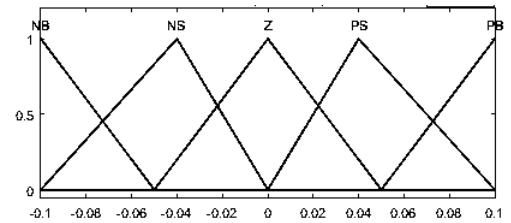
Nilai input dan output direpresentasikan dalam suatu fungsi keanggotaan yang nilai jangkauannya ditentukan berdasarkan percobaan. Perubahan duty cycle bergantung pada respon sistem terhadap perubahan duty cycle. Fungsi keanggotaan dari sistem dapat dilihat pada gambar



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Error



Gambar 6. Fungsi keanggotaan Perubahan Error



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Perubahan Duty Cycle

Untuk menentukan hubungan antara kedua input dan output dari MPPT maka digunakan rule untuk mengaitkan kedua input tersebut. Rule sendiri merupakan beberapa set peraturan yang menjelaskan berbagai kondisi input. Pada sistem MPPT ini akan digunakan rule sebagai berikut:

Tabel 3. Rule Kontrol Logika Fuzzy

ΔI	ΔP	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PS	PS
NS	PS	PS	PS	PS	Z	Z
Z	PS	Z	Z	Z	Z	NS
PS	Z	Z	NS	NS	NS	NS
PB	NB	NB	NB	NB	NB	NB

Rule diatas akan mengondisikan nilai duty cycle agar nilai error daya panel surya mencapai nol.

C. Implementasi

Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem yang telah dibuat. Berikut komponen yang digunakan

Tabel 4. Komponen yang digunakan.

No.	Parameter	Jenis
1.	Mosfet	IRFP4332
2.	Optocoupler	FOD 3182
3.	Diode	MUR 1560
4.	Mikrokontroller	Arduino Nano

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

Pengujian dari MPPT dilakukan dengan menghubungkan rangkaian langsung dengan panel surya. Dalam penelitian ini panel surya yang digunakan merupakan dua buah pael surya 50 WP dipasang secara paralel dengan spesifikasi.

Tabel. 5. Parameter Panel surya

Model	Es50236-PCM
Maximum Power	50 WP
Short Circuit Current	3.25 A
Maximum Power Current	2.91 A
Open Circuit Voltage	21.75 V
Nominal Voltage	17.24 V
FF	0.710

Pengujian dilakukan di depan gedung AJ 101 dengan iradiansi yang bervariasi dikarenakan pengaruh cuaca. Pengaruh external tersebut menyebabkan panel surya tidak pernah bekerja dalam daya sesuai nameplate.

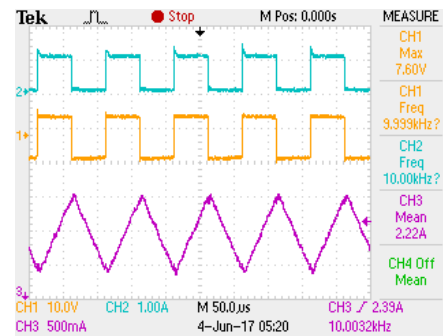


Gambar 8. Pengujian Panel Surya

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Buck Converter

Komponen switching memiliki peran yang sangat vital dalam prinsip kerja dari MPPT. Dengan switching dari Mosfet arus yang keluar dari panel surya akan diatur besarnya. Rangkaian buck converter diuji dengan menggunakan power supply laboratorium. Hasil yang didapat bisa dilihat pada gambar



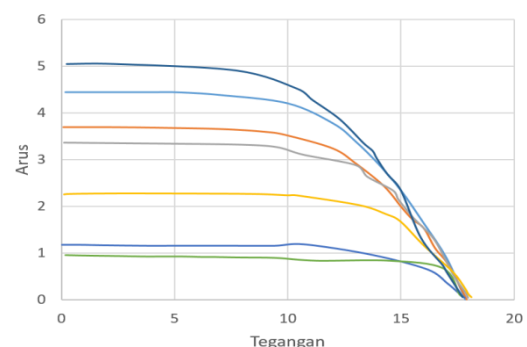
Gambar 9. Pengujian Buck Converter

Dari gambar dapat dilihat jika converter telah bekerja dengan baik dikarenakan tegangan switching pada induktor sudah membentuk gelombang pensaklaran yang baik. Dengan gelombang pensaklaran tersebut induktor dapat ter charge dan terdischarge dengan sempurna. Pada pembebanan 2 Ampere induktor sudah beroperasi dalam CCM dengan frekuensi 10 kHz.

B. Pengujian Panel Surya

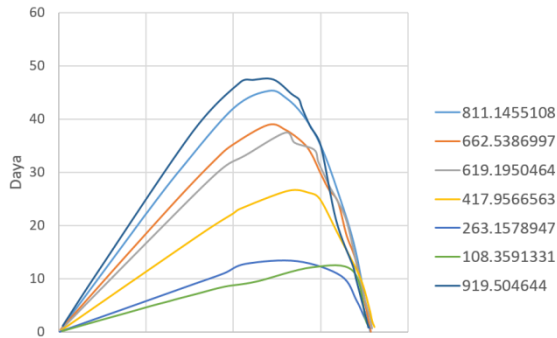
Kurva Karakteristik Panel Surya diuji dengan Iradiansi yang berbeda beda, nilai daya divariasikan dengan mengatur pembebanan pada resistor variabel. Kurva karakteristik dari Panel Surya yang diteliti dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

Dari kurva Karakteristik dapat dilihat jika daya maksimum dari panel surya tidak bisa mencapai nilai maksimum seperti yang tertera pada nameplate dikarenakan adanya pengaruh iradiansi dan temperatur, berdasarkan percobaan nilai daya maksimum sebesar 45 W pada iradians 919 W/m².

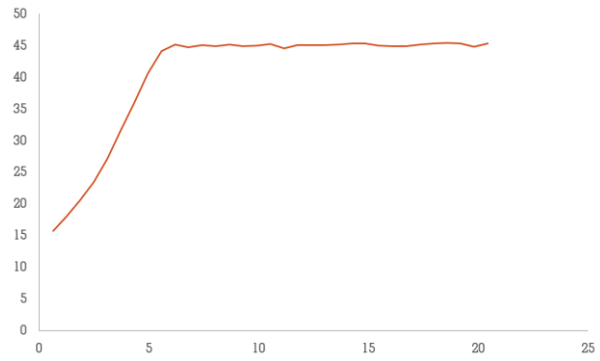


Gambar 10. Kurva I V Panel Surya

APPROACH



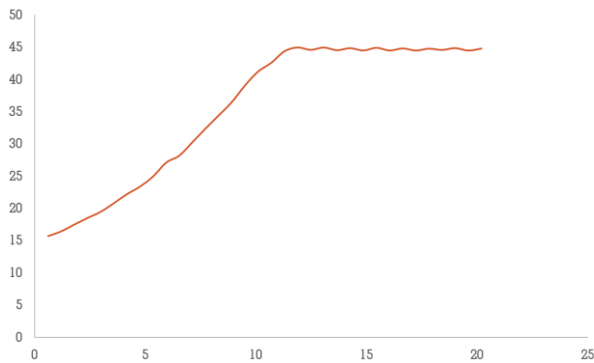
Gambar 11. Kurva P V Panel Surya



Gambar 13. Respon MPPT Fuzzy

C. Pengujian MPPT Fuzzy Logic

Berikut merupakan hasil pengujian dari algoritma hill climbing konvensional serta kontrol logika fuzzy. Dalam melakukan pengujian kedua algoritma diuji pada waktu yang sedikit berbeda namun pada irradiansi yang sama sehingga didapatkan pada MPPT Hill Climbing Konvensional akan membentuk respon



Gambar 12. Respon MPPT Hill Climbing

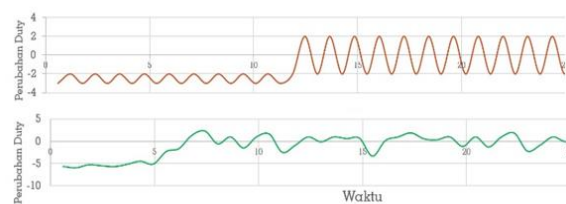
Dengan daya maksimum yang dicapai hingga 45 W pada irradians 871 W/m², dengan waktu tracking sebesar 11.88 detik, dan osilasi daya pada titik puncak sebesar 0.68%. Sedangkan pada tracking daya pada MPPT fuzzy akan membentuk respon

Dengan daya maksimum yang dicapai hingga 45 W pada irradians 871 W/m², dengan waktu tracking sebesar 6.18 detik, dan osilasi daya pada titik puncak sebesar 0.59%. Perbandingan dari kedua metode dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan MPPT Fuzzy dan Hill Climbing

Metode	Kecepatan Tracking (s)	Osilasi Daya(%)
Hill Climbing	11.88	0.69
Fuzzy Logic	6.18	0.59

Dari tabel dapat dilihat jika MPPT dengan kontrol logika fuzzy memiliki respon yang jauh lebih baik dari MPPT Hill Climbing, hal tersebut dikarenakan MPPT fuzzy memiliki perubahan duty yang tidak konstan melainkan berubah ubah bergantung pada jarak titik terhadap MPP. Jika dibandingkan perbandingan perubahan duty cycle dari kedua metode dapat dilihat pada gambar



Gambar 14. Perbandingan Perubahan Duty Cycle Fuzzy dan Hill Climbing.

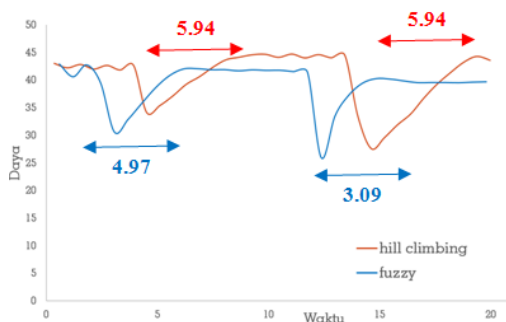
APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

Dari gambar tersebut dapat dilihat pada MPPT Hill Climbing perubahan duty cycle hanya sebesar 2 atau -2. Sedangkan perubahan duty cycle pada MPPT Fuzzy bervariasi dari 5 hingga 0, hal tersebut yang menyebabkan tracking daya pada MPPT Fuzzy lebih cepat serta lebih stabil dibandingkan tracking daya pada MPPT Hill Climbing.

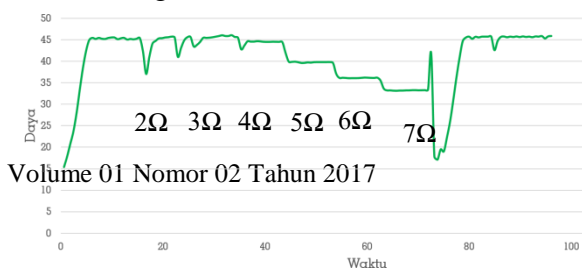
MPPT tidak hanya diuji pada keadaan beban statis saja, melainkan diuji dengan pembebanan dengan nilai yang berubah ubah. Idealnya sebuah MPPT akan bisa mengoptimalkan daya pada setiap pembebanan. Namun butuh waktu untuk mencapai MPP setiap terjadi perubahan beban. respon sistem terhadap perubahan beban dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan respon terhadap Perubahan beban

Dari gambar dapat dilihat jika sistem dengan kontrol logika fuzzy memiliki waktu tracking yang lebih cepat dibandingkan metode hill climbing. Pada perubahan beban pertama MPPT Metode Fuzzy lebih cepat 1 detik dari MPPT Hill Climbing, sedangkan pada perubahan beban 2 MPPT Fuzzy 2 kali lebih cepat dari MPPT Hill Climbing.

Pengujian lebih lanjut MPPT Fuzzy diuji dengan berbagai pembebanan respon dari sistem adalah sebagai berikut



Volume 01 Nomor 02 Tahun 2017

1Ω

1Ω

Gambar 16. Respon Setiap Pembebanan pada MPPT Fuzzy

Pada grafik dapat dilihat MPPT akan tetap mempertahankan daya output panel surya hingga maksimal pada setiap pembebanan, namun ketika resistansi beban lebih besar dari 5 ohm maka daya akan turun dikarenakan untuk mengoptimasi daya pada resistansi tersebut membutuhkan tegangan output yang tinggi yang karakter tersebut tidak dimiliki oleh rangkaian buck. Dikarenakan MPPT diarahkan untuk charging baterai maka karakteristik pembebanan ini dapat digunakan.

IV. SIMPULAN

Sistem MPPT dengan kontrol logika Fuzzy memiliki kecepatan tracking yang lebih tinggi serta nilai osilasi yang lebih kecil dibandingkan metode hill climbing. MPPT akan mengoptimalkan daya di setiap pembebanan hingga pembebanan dengan nilai resistansi yang terlalu besar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Diab-Marzouk. SiC-Based Bidirectional Cuk Converter With Differential Power Processing and MPPT for a Solar Powered Aircraft. IEEE Transaction On Transportation Electrification, vol. 1, no. 4, pp. 369-381, 2015.
- [2] G. Masters. Renewable and Effective Power System. New Jersey: John Wiley and Sons, 2004.
- [3] Krismadinata, N. Abd. Rahim, H. Wooi Ping and J. Selvaraj. Photovoltaic module modeling using simulink/matlab. The 3rd

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

International Conference on Sustainable Future for Human Security, 2012.

- [4] 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.
- [5] A. E. Khateb. *Fuzzy-Logic-Controller-Based SEPIC Converter for Maximum Power Point Tracking*. IEEE Transactions On Industry Applications. vol. 50, no. 4, pp. 2349-2358, 2014.
- [6] A. Nasr, M. H. Saied and M. Mostafa Z. *A Survey of Maximum PPT techniques of PV Systems*. Energytech, 2012 IEEE, Cleveland. 2012.