

# EVALUASI KONVERTER DC – DC TIPE CUK PADA SISTEM FOTOVOLTAIK TIPE STAND ALONE DENGAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

Agung Suharwanto<sup>\*)</sup>, Yuningtyastuti, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: ash.ashraf.raf@gmail.com

## Abstrak

Potensi energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sepanjang hari, hal ini sangat menguntungkan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan sistem fotovoltaik. Permasalahan utama pada penggunaan fotovoltaik adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah pada kondisi radiasi yang rendah dan besarnya daya listrik yang dibangkitkan berubah secara berkala seiring dengan perubahan cuaca dan suhu. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah peralatan yang digunakan untuk meningkatkan rasio daya modul fotovoltaik. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) digunakan untuk mencari point (titik) maksimum dengan cara menaikkan dan menurunkan tegangan menggunakan konverter cuk, maka penggunaan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) sangat dibutuhkan untuk meningkatkan rasio daya keluaran pada sistem fotovoltaik. Pada penelitian ini digunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk mengevaluasi proses kinerja fuzzy logic pada sistem fotovoltaik tipe *stand alone* dalam perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), sehingga dapat meningkatkan rasio daya keluaran modul fotovoltaik.

*Kata kunci : fotovoltaik, MPPT, metode ANFIS*

## Abstract

The solar energy in Indonesia can be used for almost about 10 hours in a daylight; therefore it is very useful to generate an electricity power by using photovoltaic system. The main problem in using photovoltaic system is that all depends on the weather and the temperature of the daylight; furthermore the hot sunny day will be able to produce high solar radiation which is able to generate high electricity power. On the other hand the cloudy day will be able only to produce low solar radiation which is only able to generate low electricity power as well. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) is a tool used to increase the power ratio of the modul photovoltaic. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) is used to find the maximum point by increasing and reducing the voltage which use cuk converter, so the uses of *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) is badly needed to increase output power ratio in photovoltaic system. For this research, *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) method is used to evaluate process of stand alone photovoltaic system in the set of *Maximum Power Point Tracking* (MPPT); therefore it can increase the output of power ratio in photovoltaic modul.

*Key words: photovoltaik, MPPT, ANFIS method*

## 1. Pendahuluan

Potensi energi matahari di Indonesia sangatlah besar, sehingga dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik dengan sistem fotovoltaik.

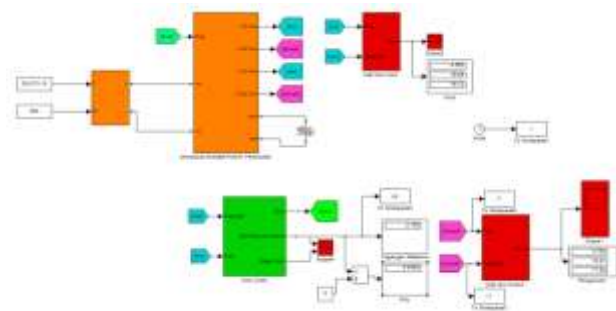
Pada modul fotovoltaik kita bisa menambahkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), yaitu suatu peralatan yang digunakan untuk mencari titik maksimum dari tegangan

dan arus keluaran modul fotovoltaik sehingga didapatkan daya keluaran yang maksimal pada modul fotovoltaik.

Pada penelitian ini dibuat suatu sistem fotovoltaik tipe *stand alone* dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan metode ANFIS yang berfungsi untuk mengevaluasi sistem sebelumnya yang menggunakan *fuzzy logic*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan rasio daya keluaran yang lebih maksimal.

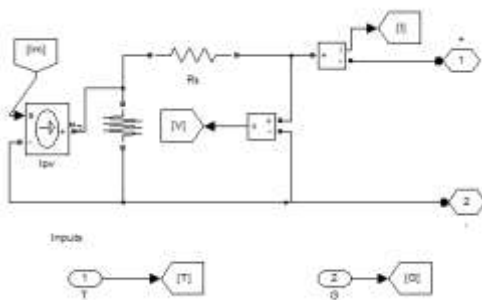
## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Perangkat Lunak(Software)



Gambar1 Blok diagram perancangan Software

Gambar rangkaian pada modul fotovoltaik perancangan sistem ini dapat di lihat pada Gambar2 berikut :

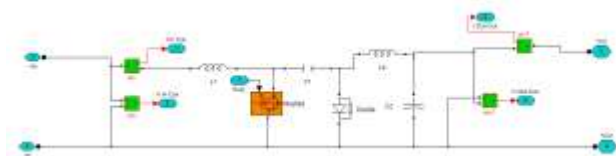


Gambar 2 Rangkaian perancangan modul fotovoltaik

Dimana pada Gambar 2 dapat dijelaskan sistem fotovoltaik ini mempunyai 2 inputan, yaitu radiasi (G) dan suhu (T). Pada sistem fotovoltaik ini terdiri dari sumber arus cahaya (*photocurrentsource*)  $I_{pv}$ , dioda terbalik (*reverse diode*) D, dan dua resistansi yang merupakan rugi-rugi (*loss resistance*) yaitu resistansi paralel (*shunt*)  $R_{sh}$  dan resistansi seri (*series*)  $R_s$ . Ketika terhubung dengan beban luar ( $R_{load}$ ), tegangan keluaran dan arus yang keluaran adalah V dan I.

### 2.2. Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT)

#### 2.2.1. Pemodelan Konverter Tipe Cuk



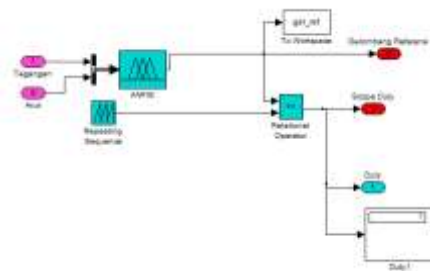
Gambar3 Blok diagram perancangan MPPT

Pada blok rangkaian sesuai Gambar 3 terdiri dari dua buah induktor (L), dua buah kapasitor (C), sebuah resistor

(R), sebuah dioda, dan sebuah Mosfet. Masukan dari blok konverter dc-dc terhubung dengan blok modul fotovoltaik, dan keluaran yang terhubung dengan beban. Pemicuan *gate* pada blok mosfet diatur oleh blok *duty cycle* yang terhubung langsung dengan keluaran blok logika fuzzy untuk menghasilkan nilai *duty cycle*.

#### 2.2.2. Pemodelan Rangkaian Kontrol Cuk Konverter

Pemodelan blok rangkaian kontrol konverter cuk dengan pician *gate* pada MOSFET dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut :



Gambar 4 Blok diagram rangkaian kontrol konverter cuk

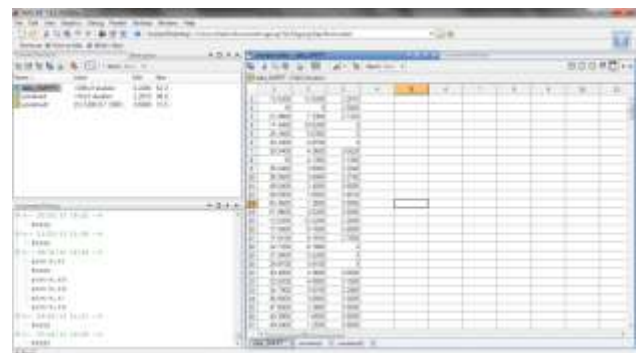
Pada Gambar 4 tegangan gigi gergaji diperoleh dari *oscillator* pembangkit gelombang gigi gergaji yang terdapat pada blok *Repeating Sequence*. Nilai-nilai tegangan dc yang direferensikan adalah sebagai berikut :

- Tegangan gigi gergaji = 5 V
- Range tegangan referensi = 2-3,5 V

### 2.3. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

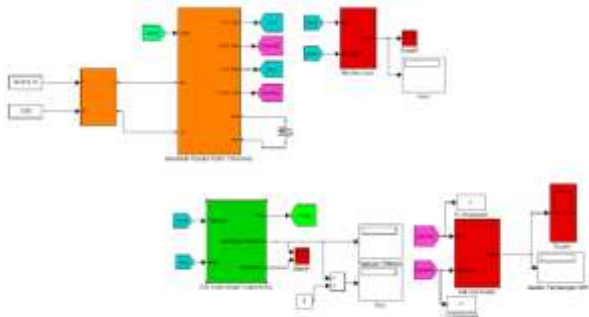
#### 2.3.1. Proses Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Proses pengambilan datanya diperoleh menggunakan metode *fuzzy logic*. Dari proses pengambilan data, didapatkan 336 pasang data yang akan digunakan untuk proses *training* seperti Gambar 5.



Gambar 5 Data input dalam pengujian fotovoltaik

Setelah semua data telah dikirim ke dalam *workspace*, maka selanjutnya membuat data training menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS).



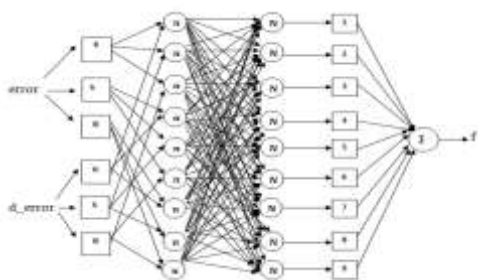
Gambar 6 Pemodelan rangkaian fotovoltaik

### 2.3.2 Perancangan Kontroler Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Pada penelitian ini, perancangan kontroler *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dilakukan sebagai berikut:

- Arsitektur jaringan yang digunakan merupakan *Fuzzy Inference System* tipe *Sugeno*
- Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah tipe *trimf*,
- Jumlah fungsi keanggotaan masing-masing *input* tiap *subsystem* adalah 2 buah serta 1 buah fungsi keanggotaan *output*.
- Jumlah *rules* yang dibangkitkan berjumlah 25 buah *rules*.

Gambar 9 merupakan arsitektur jaringan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) berdasarkan perancangan yang dilakukan yaitu terdiri dari 2 input (*error* dan *delta error*), masing-masing memiliki 3 buah fungsi keanggotaan, 9 buah fungsi keanggotaan untuk *output*, serta 9 buah aturan yang dibangkitkan.



Gambar 7 Arsitektur jaringan dari perancangan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

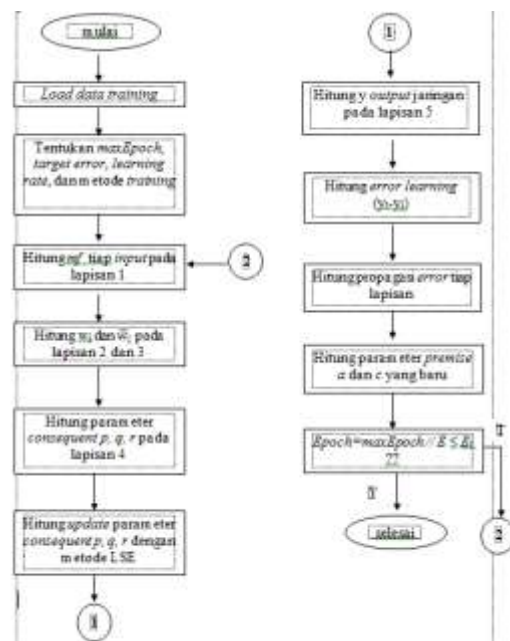
### 2.3.3. Inisialisasi Awal Kontroler Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Inisialisasi awal kontroler *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) bertujuan untuk menentukan

nilai parameter awal dari fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* sesuai pada Gambar 9. Pada penelitian ini, proses inisialisasi awal FIS dilakukan dengan metode *grid partition* yaitu memasang tiap fungsi keanggotaan dari masing-masing *input*.

### 2.3.4 Proses Training Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Setelah proses inisialisasi awal, dilakukan proses *training* pada nilai-nilai awal tersebut dengan menggunakan data *training* tiap *subsystem*. Proses *training Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) ditampilkan melalui *flowchart* pada Gambar 10.



Gambar 8 Flowchart proses *training Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Tujuan dari algoritma *training* ini adalah menentukan parameter-parameter *premise* ( $a_i$ ,  $b_i$ , dan  $c_i$ ) serta parameter *consequent* ( $p_i$ ,  $q_i$ , dan  $r_i$ ), sehingga *error learning* yang merupakan *error* yang terjadi akibat perbedaan nilai antara data *training* dan *output* jaringan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) menjadi minimal. Jika *error learning* dapat diminimalkan, *output Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) akan menyerupai data *training* dari pengendali. Karena parameter *premise* dari fungsi keanggotaan *input* telah ditentukan melalui proses inisialisasi awal, *output* dari jaringan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang telah dirancang dapat dituliskan sebagai:

$$f = \frac{w_1}{\sum w_i} f_1 + \frac{w_2}{\sum w_i} f_2 + \frac{w_3}{\sum w_i} f_3 + \dots + \frac{w_9}{\sum w_i} f_9$$

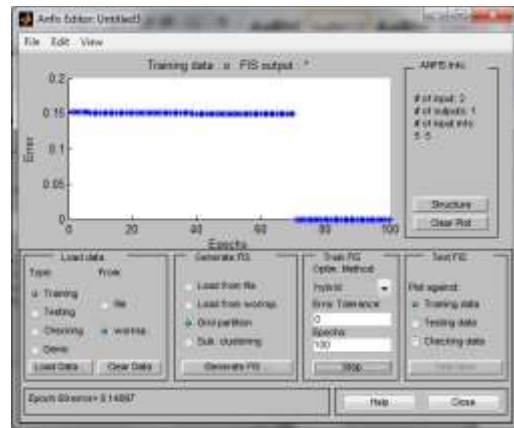
$$f = \overline{w}_1 f_1 + \overline{w}_2 f_2 + \overline{w}_3 f_3 + \dots + \overline{w}_9 f_9$$

kemudian dengan mensubstitusikan *fuzzy if-then rules* didapatkan:

$$f = \bar{w}_1(p_1e + q_1d_e + r_1) + \bar{w}_2(p_2e + q_2d_e + r_2) + \bar{w}_3(p_3e + q_3d_e + r_3) + \dots + \bar{w}_9(p_9e + q_9d_e + r_9)$$

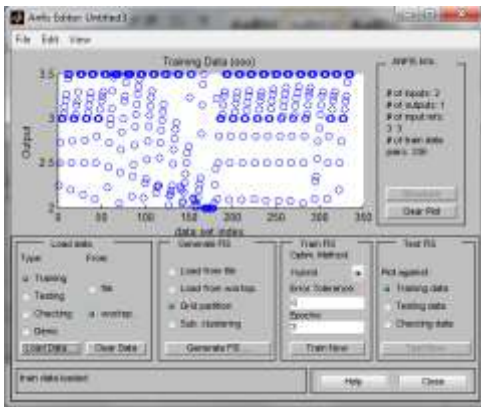
Untuk membangkitkan data training *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), maka pertama – tama buka terlebih dahulu FIS Editor dengan cara memanggil “*fuzzy*”. Setelah itu, menambah inputan menjadi 2 seperti Gambar 11 dan menggunakan metode sugeno.

Gambar 13 adalah *FIS Editor* yang berfungsi untuk mencari data training. Data training dapat dicari dengan cara *load data* seperti Gambar 14



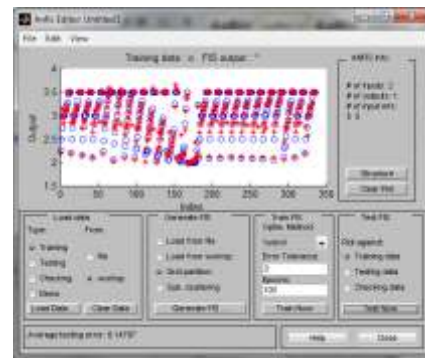
Gambar 11 Pengujian dengan 100 iterasi

Setelah di uji dengan menggunakan 100 iterasi maka akan menghasilkan data training seperti Gambar 18 dan ditunjukkan dengan warna merah.



Gambar 9 Data input pada FIS Editor

Kemudian mengatur *Generate FIS* dengan cara memasukkan number MF [5 5] dan menggunakan MF type *trimf* yang bersifat *constant* seperti Gambar 16



Gambar 12 Hasil pengujian dengan 100 iterasi

Setelah mendapatkan titik data training, maka dapat diketahui *average testing error* sebesar 0,14797 dan mengalami pembulatan sebesar 1,48 seperti Gambar 19



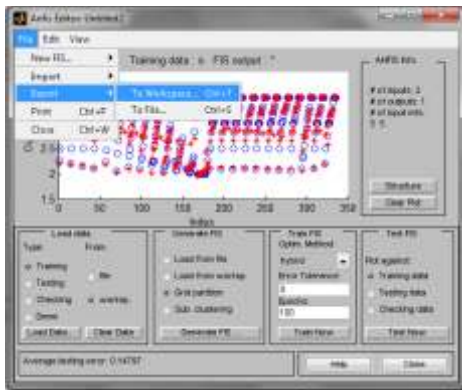
Gambar 10 Cara memasukkan aturan pada ANFIS

Selanjutnya menguji data dengan menggunakan 100 iterasi seperti Gambar 17



Gambar 13 Average testing error sebesar 1,48

Setelah itu kita *export to workspace* seperti Gambar 20.



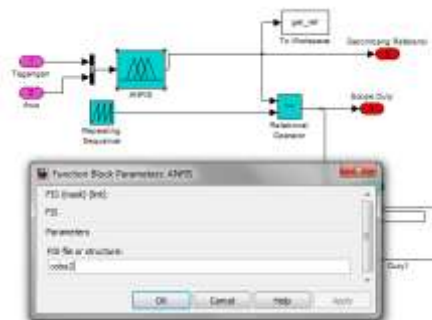
Gambar 14 Pengiriman data training ke workspace

Selanjutnya disimpan dengan nama “coba2” untuk mempermudah dalam proses pemanggilan data.



Gambar 15 Penyimpanan data training dengan variabel “coba2”

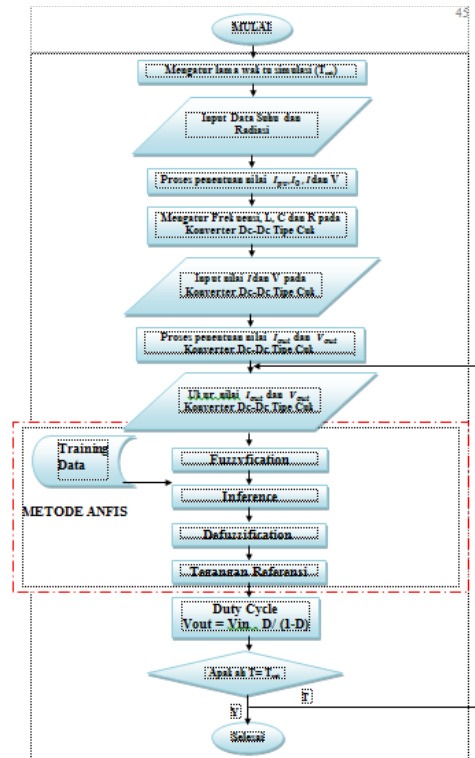
Setelah itu masuk ke rangkaian simulink untuk memanggil data yang sudah diolah. Masuk ke sub system “duty cycle” dan pada bagian ANFIS panggil data “coba2” yang berfungsi sebagai data training seperti pada Gambar 21.



Gambar 16 Proses pembangkitan training data

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Hasil Simulasi Pemodelan Modul Fotovoltaik



Gambar 17 Diagram alir proses fotovoltaik

#### 3.2 Perubahan Resistansi Beban Terhadap Tegangan, Arus dan Daya Keluaran Modul Fotovoltaik pada ANFIS

Pada simulasi pengaruh perubahan resistansi beban variasi yang dilakukan yaitu variasi resistansi beban dan radiasi, variasi resistansi beban dan suhu, dan variasi resistansi beban, radiasi dan suhu. Data hasil pemodelan modul fotovoltaik terhadap perubahan nilai resistansi beban ( $R_{Beban}$ ) dan radiasi dapat kita lihat seperti yang tertera pada Tabel 1 dan 2 sebagai berikut:

Tabel 1 Data daya keluaran modul fotovoltaik dengan variasi radiasi dan resistansi beban dengan fuzzy logic

Radiasi 1300 W/m <sup>2</sup> dan suhu 25°C					
R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Referensi	Duty Cycle
1	12,52	12,52	156,7	0,4502	2,251
2	18	9	162	0,5	2,5
3	21,98	7,33	161,07	0,54658	2,7329
4	25,91	6,48	167,85	0,6	3
5	28,16	5,63	158,61	0,6	3
6	29,24	4,87	142,49	0,6	3
7	30,54	4,36	133,22	0,6104	3,052
8	33	4,13	136,14	0,626	3,13
9	35,04	3,89	136,42	0,6408	3,204
10	36,9	3,69	136,19	0,654	3,27

**Tabel 2** Data daya keluaran modul fotovoltaik dengan variasi radiasi dan resistansi beban dengan metode ANFIS

Radiasi 1300 W/m <sup>2</sup> dan suhu 25°C					
R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Referensi	Duty Cycle
1	12,27	12,27	150,5	0,524	2,62
2	17,94	8,969	160,9	0,5802	2,901
3	22,37	7,456	166,8	0,6019	3,0095
4	25,91	6,477	167,8	0,6022	3,011
5	28,87	5,773	166,7	0,6035	3,0175
6	30,72	5,121	157,3	0,6135	3,0675
7	31,71	4,53	143,6	0,6067	3,0335
8	32,33	4,041	130,7	0,5976	2,988
9	32,67	3,629	118,6	0,5887	2,9435
10	33,06	3,306	109,3	0,5921	2,9605

Daya tertinggi yang dapat dicapai dari pemodelan modul fotovoltaik dengan variasi radiasi, dan resistansi beban menggunakan metode ANFIS adalah 167,8 Watt, sedangkan pada fuzzy logic adalah 167,85 Watt.

Perubahan resistansi beban dan radiasi juga mempengaruhi rata-rata daya keluaran modul fotovoltaik, dapat dilihat pada data dalam Tabel 3 sebagai berikut:

**Tabel 3** Data rata-rata daya keluaran modul fotovoltaik dengan variasi radiasi dan resistansi beban

RADIASI (W/m <sup>2</sup> )	FUZZY - P(W)	ANFIS - P(W)
1300	149,07	147,22
1200	143,03	137,60
1100	133,97	121,79
1000	121,20	112,44
900	89,84	99,27
800	80,03	89,42
700	69,01	80,86
600	60,15	71,85
500	49,64	60,76
400	39,35	50,56
300	26,94	42,10
200	14,84	37,84
100	4,35	37,22

Dari data variasi radiasi dan resistansi daya tertinggi yang dapat dicapai dari pemodelan modul fotovoltaik menggunakan metode ANFIS dengan variasi radiasi, suhu dan resistansi beban adalah 147,22 Watt, sedangkan menggunakan metode fuzzy logic adalah 149,07 Watt.

Pada Tabel 4 adalah proses modul fotovoltaik menggunakan variasi suhu dengan radiasi 1000 W/m<sup>2</sup>, resistansi beban bernilai 3 Ω saat suhu 18°C. Nilai daya tertinggi pada metode ANFIS adalah 118,55 Watt, sedangkan pada fuzzy logic adalah 132,31 Watt.

**Tabel 4** Data daya keluaran modul fotovoltaik dengan variasi suhu dan resistansi beban dengan fuzzy logic

Radiasi 1000 W/m <sup>2</sup> dan suhu 18°C					
R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Referensi	Duty Cycle
1	10,85	10,85	117,66	0,42	2,1
2	15,21	7,66	117,26	0,5	2,5
3	18,1	6,03	109,14	0,56	2,8
4	20,47	5,12	104,74	0,6	3
5	24,99	5	124,9	0,6	3
6	28,18	4,7	132,31	0,6	3
7	30,11	4,3	129,53	0,61	3,05
8	32,42	4,05	131,37	0,63	3,15
9	34,43	3,83	131,75	0,65	3,25
10	36,32	3,63	131,91	0,66	3,3

**Tabel 5** Data daya keluaran modul fotovoltaik dengan variasi suhu dan resistansi beban dengan metode ANFIS

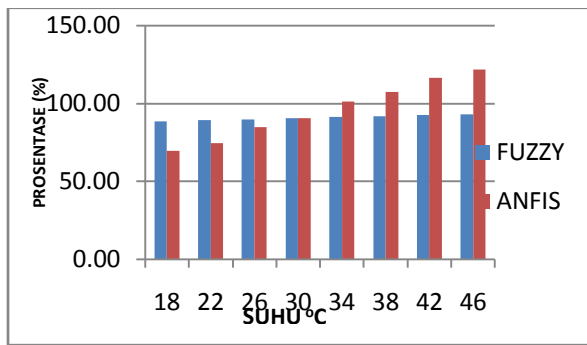
Radiasi 1000 W/m <sup>2</sup> dan suhu 18°C					
R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Referensi	Duty Cycle
1	10,49	10,49	110,04	0,3984	1,992
2	15,06	7,532	113,43	0,5389	2,6945
3	18,86	6,286	118,55	0,5413	2,7065
4	21,73	5,433	118,06	0,5472	2,736
5	23,37	4,674	109,23	0,5695	2,8475
6	24,15	4,024	97,18	0,5616	2,808
7	24,64	3,52	86,73	0,5613	2,8065
8	24,99	3,124	78,07	0,5633	2,8165
9	25,24	2,805	70,80	0,5615	2,8075
10	25,44	2,544	64,72	0,5677	2,8385

Perubahan resistansi beban dan suhu juga mempengaruhi rata-rata daya keluaran modul fotovoltaik. Besar pengaruh perubahan suhu dan resistansi beban dapat dilihat pada data dalam Tabel 6 sebagai berikut:

**Tabel 6** Data rata-rata daya keluaran modul fotovoltaik dengan variasi suhu dan resistansi beban

SUHU (C)	FUZZY - P(W)	ANFIS - P(W)
18	123,06	96,68
22	122,05	102,21
26	120,93	114,23
30	119,82	119,85
34	118,53	131,46
38	117,26	137,05
42	115,78	145,79
46	114,24	149,35



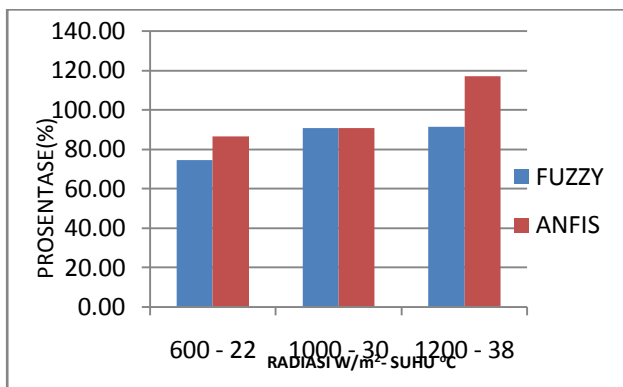


Gambar 19 Grafik rasio daya modul fotovoltaik dengan kondisi perubahan suhu

Dari Gambar 42 terlihat bahwa nilai rasio daya dari modul fotovoltaik pada metode ANFIS terjadi peningkatan. Rata – rata peningkatan metode ANFIS dibandingkan fuzzy logic adalah sebesar 4,72%. Rasio daya tertinggi terjadi pada saat suhu matahari mulai naik.

### 3.3.3 Rasio Daya Modul Fotovoltaik dengan Variasi Radiasi dan Suhu

Dari hasil simulasi perubahan radiasi dan suhu mempengaruhi rasio daya keluaran modul fotovoltaik secara terpisah. Apabila radiasi dan suhu berubah secara bersamaan maka nilai dari hasil simulasi pemodelan modul fotovoltaik menggunakan MPPT ini dapat kita lihat pada Gambar 43 sebagai berikut:



Gambar 20 Grafik rasio daya modul fotovoltaik dengan kondisi perubahan radiasi dan suhu

Dari Gambar 43 terlihat bahwa nilai rasio daya dari modul fotovoltaik pada metode ANFIS terjadi peningkatan. Rata – rata peningkatan metode ANFIS dibandingkan fuzzy logic adalah sebesar 15,03%. Rasio daya tertinggi terjadi pada saat radiasi dan suhu matahari mulai naik.

Perangkat *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) mampu meningkatkan dan mempertahankan daya keluaran modul fotovoltaik mendekati titik maksimum dengan cara mengatur *duty cycle*.

## 4. Penutup

### 4.1 Kesimpulan

Pemasangan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan konverter dc-dc tipe cuk menggunakan metode ANFIS pada fotovoltaik menghasilkan peningkatan lebih maksimal dibandingkan dengan fuzzy logic.

Penggunaan perangkat MPPT pada modul fotovoltaik menggunakan metode ANFIS dapat meningkatkan rasio daya dengan kenaikan rata-rata sebesar 15,03% dari penggunaan fuzzy logic.

### 4.2 Saran

Saran untuk tahap pengembangan dimasa mendatang. Perlu dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan metodelain, seperti Algoritma Genetika, kombinasi beberapa metode (hybrid), dll.

Dapat dikembangkan Pemodelan sistem Modul fotovoltaik dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang terhubung dengan jaringan listrik PLN menggunakan inverter.

## Referensi

- [1]. Amin, Rahardjo, dkk, *Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya Pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi Sebagai Bangunan Hemat Energi*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Universitas Lampung, 2008.
- [2]. Aprian, Farhan, *Perancangan Stand Alone PV System Dengan Maksimum Power Point Tracker (MPPT) Menggunakan Metode Modified Hill Climbing*, Proceeding Seminar penelitian, Institute Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Juni 2010.
- [3]. Darmawan, Dianggoro, *Perancangan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Panel Surya Menggunakan Konverter Cuk Dengan Metode HillClimbing*, Jurusan Teknik Elektro Institut Sepuluh November Surabaya.
- [4]. Eric Anderson, Chris Dohan, Aaron Sikora, *Solar Panel Peak Power Tracking System*, Worcester Polytechnic Institute, 2003.
- [5]. Ina, Duka, *High Frequency DC/DC Boost Converter*, Worcester Polytechnic Institute, April 2011.
- [6]. Marcelo Gradella Villava, Jonas Rafael Gazoli and Ernesto Ruppert Filho, *Modeling and Circuit Based Simulation Of Photovoltaic Array*, Brazilian Journal of Power Electronic vol-14 no 1, Brazil, 2009.
- [7]. Marcelo Gradella Villava, Jonas Rafael Gazoli and Ernesto Ruppert Filho, *Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays*, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 24,, No 5, May 2009.
- [8]. Moertini Veronica S, *Energi Baru dan Terbarukan (EBT) : Kajian Potensi Dan Teknologi Konversinya*, SIGMA, Vol 5, No 1, Januari 2002.
- [9]. Moubayed Nazih, El-Ali Ali, dan Outbib Rachid, *A Comparison of Two MPPT Techniques For PV System*, WSEAS Transactions on Environment and Development, Issue 12, Volume 5, December 2009.



- [10]. Pudjo Widodo Prabowo dan Trias Hardayanto Rahmadya, *Penerapan Soft Computing dengan Matlab*, Rekayasa Sains, Februari 2009
- [11]. Rashid, M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2<sup>nd</sup>*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [12]. Suhono, *Inventarisasi Permasalahan Pada Instalasi Solar Home System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*, Universitas Gajah Mada, 2009.
- [13]. Surojo, Ashari Mochammad, dan Purnomo Mauridhi Heri, *Desain dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter*, 7th Basic Science National Seminar Proceeding, Malang, 2010.
- [14]. User's Guide Version 2, *Fuzzy Logic Toolbox For Use With Matlab*, January 10, 1995