

# Pemodelan Fotovoltaik Berbasis Teknik *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*

Ihwallibi Tribowo<sup>1)</sup>, Azriyenni Azhari Zakri<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

Email: ihwallibi.tribowo4529@student.unri.ac.id; azriyenni@eng.unri.ac.id

## ABSTRACT

*Photovoltaic system is designed to meet the need of electricity or as an alternative energy. Using of photovoltaic panel system to generate electrical power has uncertainty of output power value, since it is not constant and strongly influenced by weather condition. This research discusses photovoltaic model to predict efficient and accurate output. This modelling system will applies method of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) to generate power, voltage, current, and temperature prediction. This model is divided into two systems run by ANFIS, ANFIS system 1 and system 2. From simulation result, obtained error value of open circuit voltage from battery 0.000104 %. This value is output value of ANFIS system 1. Furthermore, simulation of ANFIS system 2 produces error value of AC voltage around 0,058482%, This value is the output of inverter.*

*Keyword : ANFIS, battery, modeling, prediction, photovoltaic*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin hari semakin meningkat, sedangkan sumber energi untuk melayani kebutuhan tersebut saat ini mayoritas masih menggukakan energi fosil. Sementara itu sumber energi fosil ini semakin menipis dan dalam penggunaan energi fosil ini menimbulkan dampak yang kurang baik terhadap lingkungan. Maka dari itu perlu dikembangkan sumber energi yang selalu tersedia dan pengaruh terhadap pencemaran lingkungan yang kecil, atau bahkan tidak ada. Pemanfaatan energi terbarukan ini tentunya juga harus melihat karakteristik dan potensi energi yang ada di daerah tersebut. Maka, pemerintah Indonesia telah menyiapkan beberapa peraturan, yaitu: Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 3 Tahun 2005 tentang penyediaan dan pemanfaatan listrik yang memprioritaskan penggunaan sumber energi lokal, yaitu mengutamakan pemakaian energi terbarukan.

Negera Indonesia sebagai negara yang beriklim tropis memiliki potensi energi surya dapat dimanfaatkan sepanjang hari. Hal ini sangat memungkinkan untuk membangkitkan energi listrik

dengan sistem Fotovoltaik (FV). Selain itu, energi surya adalah salah satu energi yang sedang berkembang saat ini. Teknologi energi baru dan terbarukan yang tersedia dapat diandalkan sehingga teknologi berkembang tergantung pada kelayakan ekonomi. Ketika sistem FV ini dirancang dengan optimal dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik atau menjadi energi alternatif. Akan tetapi, sistem daya listrik Fotovoltaik (FV) memiliki ketidakpastian daya keluaran, tidak konstan dan keluaran FV dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Oleh sebab itu, penelitian ini akan diusulkan model FV untuk prediksi yang efisien dan akurat dalam sistem FV dan daya keluaran. Pemodelan sistem FV sebagai penyuplai daya listrik sebagai tahap awal harus disesuaikan semua ukuran, identifikasi atau aplikasi simulasi. Oleh karena itu, metode ini sangat memungkinkan diusulkan berbasiskan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) dan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk simulasi sistem FV. Gabungan teknik kecerdasan tiruan ini dikenal dengan nama *Neuro-Fuzzy* (NF).

Penggunaan metode *Adaptif Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) ini akan menghasilkan prediksi daya, tegangan, arus, dan suhu yang merupakan hasil keluaran dari ANFIS Sel Surya, ANFIS Regulator, ANFIS Baterai, dan ANFIS Inverter yang lebih tepat dan akurat. Maka dari pemaparan diatas menjadi landasan penulis untuk melakukan penelitian yang akan menghasilkan data yang bisa digunakan sebagai pengembangan energi terbarukan dimasa yang akan datang.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1 Sistem Fotovoltaik

Sistem FV dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Fotovoltaik (FV) merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan karena dalam proses konversi energinya tidak menghasilkan polusi, selain itu sumber energinya selalu tersedia (Anwar et al, 2012). Selain itu Sistem FV dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada di daerah terpencil. Ketika distribusi energi listrik yang dilakukan oleh Perusahaan Listrik Negara tidak bisa menjangkau pelosok suatu daerah, maka sistem FV menjadi salah satu solusinya (Rudi, 2012). Selanjutnya Sistem FV dapat digunakan sebagai energi cadangan dan tempat penelitian di suatu laboratorium. Ketika listrik dari Perusahaan Listrik Negara tidak menyala maka listrik hasil pembangkitan dari sistem FV dapat digunakan sebagai energi cadangan, selain itu sistem FV yang dibangun di Laboratorium dapat digunakan sebagai bahan pelajaran untuk mengembangkan penelitian terkait (Arpita et al, 2012). Kemudian Sistem FV dapat digunakan sebagai penerangan jalan dan taman. Penerangan jalan umum dan taman memerlukan energi yang cukup besar. Ketika penerangannya menggunakan energi listrik dari PLN maka akan memakan biaya yang besar juga. Maka dari itu penggunaan sistem FV dalam penerangan ini bisa menjadi solusinya, karena sumber energi surya yang tidak terbatas dan selalu ada (Dony et al, 2013).

### 2.2 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

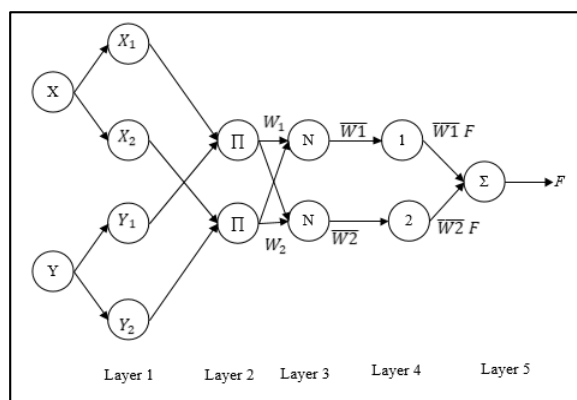
ANFIS adalah sistem inferen adaptif NF yang menggunakan model Takagi Sugeno (TS) atau model Mamdani. Metode ini telah dikembangkan pada awal tahun 1990. Metode ANFIS ini ialah gabungan dari dua teknik cerdas yaitu teknik JST dan teknik FL. Teknik pembelajaran ANFIS menyediakan model Fuzzy untuk mempelajari informasi mengenai set

data. Metode ANFIS adalah satu contoh teknik pembelajaran di mana parameter fungsi keanggotaan dijalankan dengan menggunakan algoritma rambatan (Shengyang et al, 2009).

ANFIS model TS menggunakan algoritma pembelajaran teknik hibrid cerdas untuk mengenal parameter TS jenis *Fuzzy Inference System* (FIS). ANFIS juga berfungsi sebagai metode pembelajaran syaraf bagi mengidentifikasi parameter dan struktur (Sallama et al, 2012).

Selanjutnya, penyesuaian JST dalam kajian ini adalah diwujudkan dalam tiga elemen yang mendasar yaitu: fuzifikasi, *Fuzzy Inference* dan defuzifikasi. Dalam teknik JST terdiri dari pemberat antara lapisan masukan, lapisan sembunyi pertama dan lapisan sembunyi kedua serta lapisan keluaran untuk memastikan nod masukan dan keluaran. ANFIS dilatih dengan aplikasi gabungan teknik cerdas dengan sinyal masukan yang telah ditentukan terlebih dahulu. Model ANFIS menggabungkan kemampuan penyesuaian jaringan syaraf dan pendekatan LF yang dilaksanakan secara kualitatif (Azriyenni et al, 2015).

Kajian ini akan memperkenalkan model ANFIS yang mempunyai kelebihan yang lebih besar dalam Penalaran Fuzzy (PF). Berdasarkan dari dua metode Fuzzy menggunakan aturan FIS maka diterapkan model LF-TS. Dua model Fuzzy yang digunakan berdasarkan aturan *If-Then*. Gambar 1 memberikan diskripsi bahwa struktur ANFIS dengan nod yang menyesuaikan dengan nod tetap FIS yang mempunyai dua masukan, x dan y dan satu keluaran f.



Gambar 1 Struktur teknik ANFIS

Teknik ANFIS dideskripsikan untuk lapisan *neuron* yang tercantum dalam tahapan berikut ini (Chai et al, 2009):

Lapisan 1: Fuzifikasi

Nod lapisan ini menjalankan derajat keanggotaan yang termasuk dalam setiap sistem Fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan.

$$O_{1,i} = \mu A(x) \text{ untuk } i = 1, 2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu B_{i-2}(y) \text{ untuk } i = 3, 4 \quad (2)$$

Fungsi keanggotaan dapat menggunakan nama-nama fungsi yang sesuai seperti; *Gaussian*, *trapezoid*, *generalized bell* dan segitiga.

$$\mu A = \left\{ 1 - \frac{a_{i1} - u}{a_{i2} - a_{i1}} \text{ jika } a_{i1} - a_{i2} \leq u \leq a_{i2} \right. \\ \left. 1 - \frac{u - a_{i2}}{a_{i3} - a_{i2}} \text{ jika } a_{i2} \leq u \leq a_{i3} \right. \\ \left. 0 \text{ jika } u < a_{i1} \text{ atau } u > a_{i3} \right. \quad (3)$$

$$\mu B_i = \left\{ 1 - \frac{b_{i1} - v}{b_{i2} - b_{i1}} \text{ jika } b_{i2} - b_{i1} \leq v \leq b_{i1} \right. \\ \left. 1 - \frac{v - b_{i1}}{b_{i3} - b_{i1}} \text{ jika } b_{i1} \leq v \leq b_{i3} \right. \\ \left. 0 \text{ jika } v < b_{i1} \text{ atau } v > b_{i3} \right. \quad (4)$$

Lapisan 2: Aturan *If-Then*

Sistem aturan dengan perintah *AND* yang digunakan satu keluaran yang menunjukkan hasil dari perintah *LF*. Lapisan keluaran adalah produk derajat keanggotaan yang sesuai.

$$O_{2,k} = wk = \mu A_1(x) * \mu A_2(y) \quad (5)$$

Lapisan 3: Pemberat Normal

Pemberat normal untuk rasio pemberat setiap aturan dalam jumlah semua aturan pemberat. Bahwa dalam setiap satu diambil sebagai pemberat normal itu.

$$O_{3,1} = \overline{Wi} = \frac{wi}{w_1+w_2+w_3+w_4} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

Lapisan 4: Defuzifikasi

Fungsi nod lapisan keempat menghitung sehingga identifikasi setiap aturan kepada jumlah keluaran sebagai berikut:

$$O_{4,i} = \overline{Wi} Zi = \overline{Wi} (P_i x + P_i y + r_i) \quad i = 1, \dots, 4 \quad (7)$$

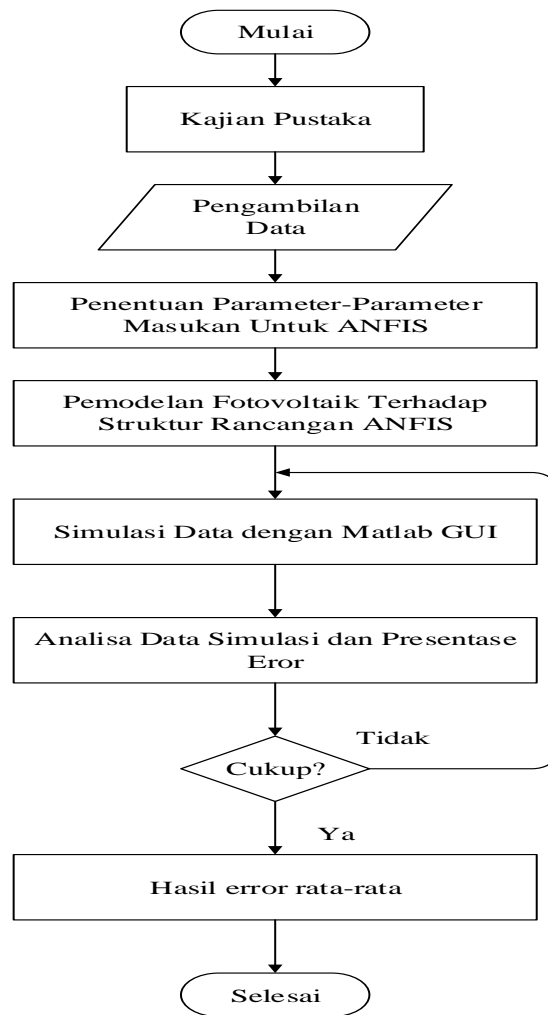
Lapisan 5 : Penambahan *Neuron*

Nod menghitung semua keluaran dengan menjumlahkan semua isyarat yang masuk. Dampaknya, defuzifikasi menciptakan proses keputusan *fuzzy* setiap aturan kedalam lapisan lapisan keluaran ini menjadi :

$$O_{5,i} = \sum_{i=1}^4 \overline{Wi} Zi = \frac{w_1 Z_1 + w_2 Z_2 + w_3 Z_3 + w_4 Z_4}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4} \quad (8)$$

## 2.3 Flowchart Penelitian

Kegiatan penelitian merupakan uraian tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan perancangan dan pengujian. Secara garis besar tahapan dapat dilihat pada Gambar 2 *flowchart* seperti berikut.



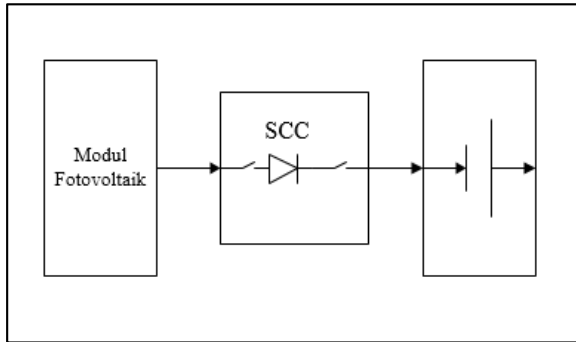
Gambar 2. *Flowchart* penelitian

## 2.4 Pemodelan sistem fotovoltaik

Perancangan pemodelan pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem 1 dan sistem 2. Pada pemodelan tersebut terdiri dari komponen-komponen yang ada pada sistem Fv seperti panel surya, *control charger*, baterai, inverter, dan beban.

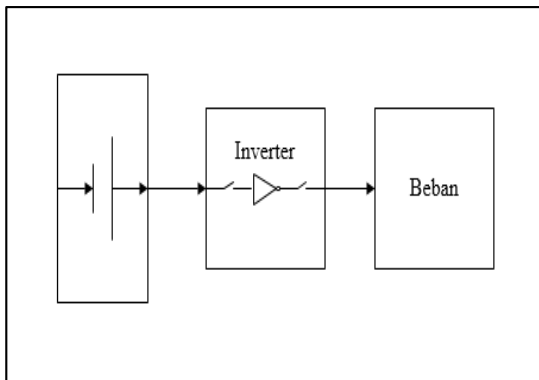
Pada Gambar 3 terdiri dari panel surya, *control charger*, dan baterai. Sehingga pada pemodelan ini memungkinkan untuk mensimulasikan proses

fotovoltaik. Pada sistem 1 ini terdiri dari *input* radiasi matahari ( $I_r$ ) dan suhu ( $T$ ), sedangkan *output* pada sistem 1 ini adalah tegangan *output circuit* ( $V_{oc}$ ) baterai.



Gambar 3. Blog diagram sistem 1

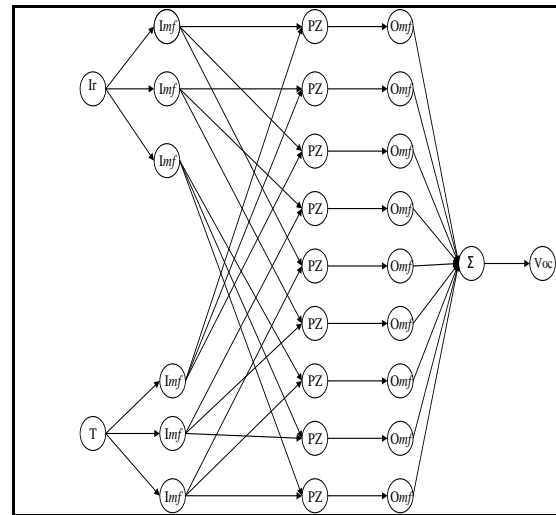
Pada Gambar 4 terdiri dari baterai, inverter, dan beban. Pada sistem 2 ini dapat mensimulasikan proses perubahan tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC hasil keluaran inverter. Pada sistem 2 ini terdiri dari *input* tegangan baterai ( $V_b$ ), arus baterai ( $I_b$ ), Soc, dan suhu ( $T$ ). Sedangkan *output* pada sistem 2 ini adalah tegangan AC ( $V_{AC}$ ), arus AC ( $I_{AC}$ ), dan frekuensi ( $F$ ).



Gambar 4. Model sistem FV

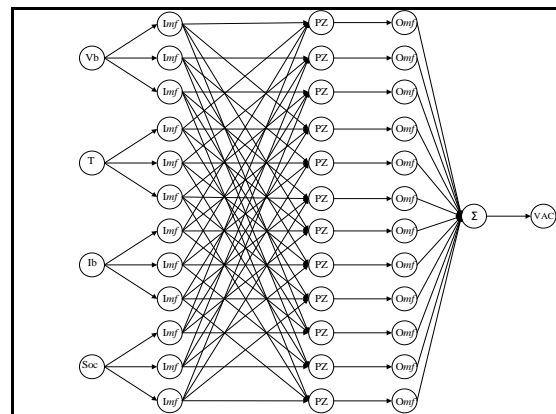
### 2.5 Struktur ANFIS

Struktur ANFIS sistem 1 yang akan digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 5. Struktur tersebut terdiri dari *input* Radiasi ( $I_r$ ) dan Suhu ( $T$ ) dan *output* Tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) baterai. Pada struktur tersebut terdiri dari Dua *input*, Tiga *membership function*, Sembilan *rules* dan *output membership function*, dan Satu *output*.



Gambar 5 Rancangan Struktur ANFIS sistem 1

Struktur ANFIS sistem 2 ditunjukkan oleh Gambar 5. Struktur tersebut adalah salah satu struktur sistem 2 dengan *output* VAC. Pada struktur tersebut terdiri dari Empat *input*, Tiga *membership function*, Duabelas *rules* dan *output membership function*, dan Satu *output*.



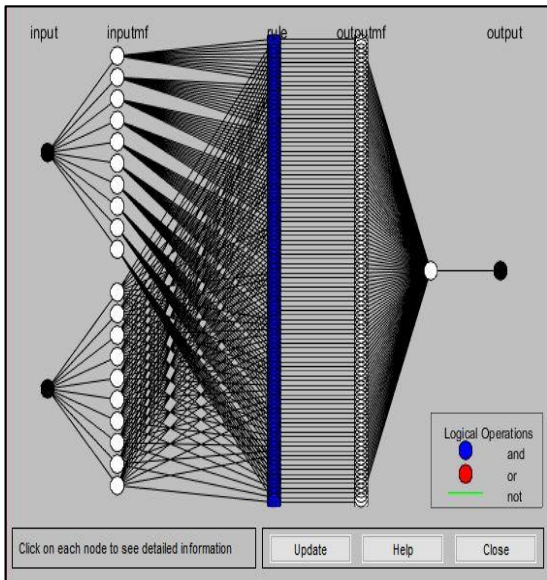
Gambar 6 Rancangan Struktur ANFIS Sistem 2

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah berupa proses ANFIS dari data yang di-*training*, dan *error* dari proses ANFIS tersebut.

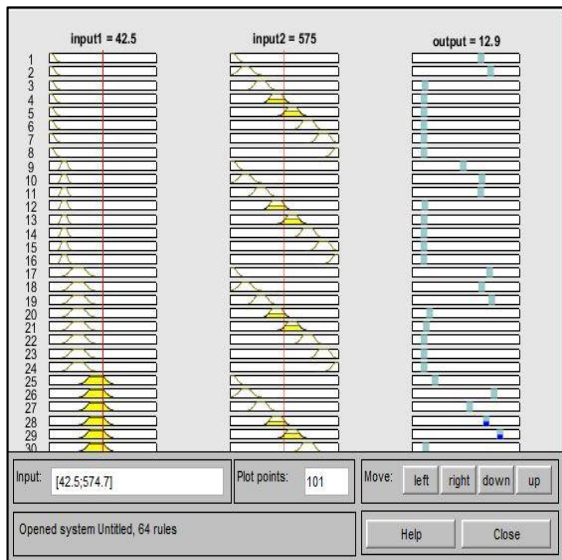
### Proses Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

Gambar 7 menunjukkan struktur ANFIS yang dihasilkan pada pengujian kali ini. Struktur tersebut terdiri dari 2 buah *input*, 9 buah *input mf*, 64 buah *rule* dan *output mf*, dan satu buah *output*.



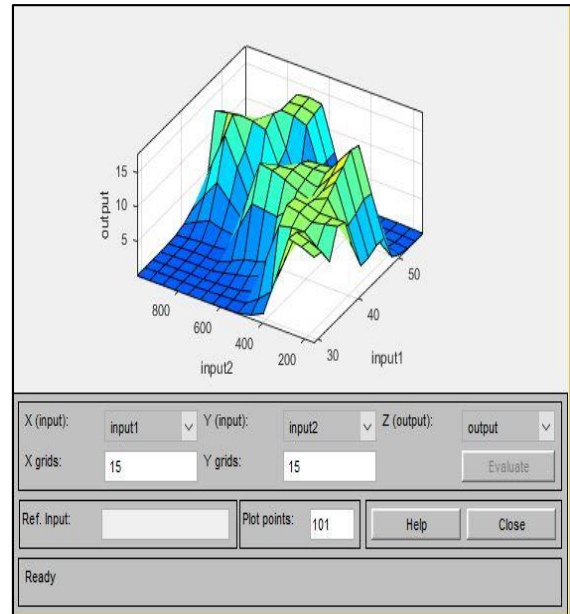
**Gambar 7 Struktur ANFIS sistem 1**

Gambar 8 menunjukkan *Rules* yang dihasilkan dalam proses ANFIS. Terdapat 64 *rules* dalam proses ANFIS kali ini.



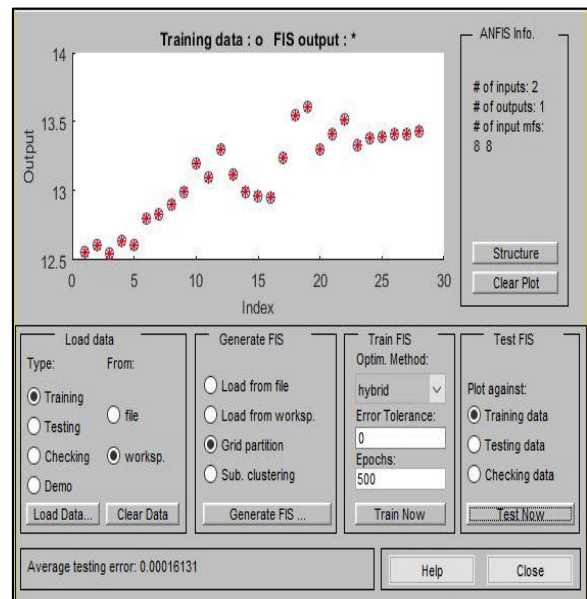
**Gambar 8 Rule ANFIS Sistem 1**

Pada Gambar 9 menunjukkan grafik *surface* yang di hasilkan pada proses ANFIS yang telah dilakukan.



**Gambar 9 Surface ANFIS Sistem 1**

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil Test data pada proses ANFIS. Terlihat *error* yang dihasilkan adalah 0,00016131. Data yang digunakan pada proses ANFIS diatas adalah data sistem 1, yang terdiri dari 28 data.



**Gambar 10 Hasil test ANFIS sistem 1**



### Hasil training ANFIS

Tabel 1 menunjukkan hasil proses ANFIS untuk sistem 1. Sedangkan Tabel 2 menunjukkan proses ANFIS sistem 2. Pada simulasi kali ini digunakan data sebanyak 28 data.

Dalam penelitian ini untuk data sistem 1 *input* berupa radiasi ( $I_r$ ) dan Suhu ( $T$ ). Parameter yang menjadi acuan untuk data yang digunakan adalah suhu, yaitu dari suhu  $29^\circ\text{C}$  s.d  $56^\circ\text{C}$ . Setelah dilakukan proses ANFIS untuk data tersebut didapat *error* rata-rata dari semua data adalah  $0,000104$ .

**Tabel 1 Hasil proses ANFIS sistem 1 dengan output Voc**

No	Input		Output	Target	Error
	T	$I_r$	VOC		
1	29	154,05	12,56	12,56	0,000000
2	30	169,85	12,61	12,61	0,000000
3	31	201,45	12,55	12,5499	0,000100
4	32	270,18	12,64	12,6401	0,000100
5	33	303,717	12,61	12,6098	0,000200
6	34	303,717	12,8	12,8001	0,000100
7	35	284,4	12,83	12,8303	0,000300
8	36	282,03	12,9	12,8997	0,000300
9	37	235,44	12,99	12,9898	0,000200
10	38	373,172	13,2	13,2	0,000000
11	39	235,44	13,1	13,1004	0,000400
12	40	235,44	13,3	13,2997	0,000300
13	41	548,575	13,12	13,12	0,000000
14	42	628,05	12,99	12,99	0,000000
15	43	548,575	12,96	12,9601	0,000100
16	44	496,12	12,95	12,95	0,000000
17	45	845,3	13,24	13,24	0,000000
18	46	360,24	13,55	13,55	0,000000
19	47	837,4	13,61	13,61	0,000000
20	48	829,5	13,3	13,3	0,000000
21	49	995,4	13,41	13,41	0,000000
22	50	735,75	13,52	13,52	0,000000
23	51	735,75	13,33	13,3299	0,000100
24	52	735,75	13,38	13,3803	0,000300
25	53	746,55	13,39	13,3897	0,000300
26	54	699,94	13,41	13,4099	0,000100
27	55	657,28	13,41	13,41	0,000000
28	56	731,54	13,43	13,43	0,000000

Sedangkan untuk data pada sistem 2 *input* berupa tegangan baterai ( $V_b$ ), arus baterai ( $I_b$ ), suhu ( $T$ ), dan SOC. *Output* dari sistem 2 ada tiga parameter yaitu tegangan AC ( $V_{AC}$ ), arus AC ( $I_{AC}$ ), dan frekuensi ( $F$ ). Setelah dilakukan proses ANFIS untuk data

sistem 2 dengan *output* VAC didapat *error* rata-rata dari semua data adalah  $0,058482$ . Hasil training ANFIS dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2 Hasil proses ANFIS untuk sistem 2 dengan output VAC**

No	Input				Output		Error
	TR	Vib	Iib	Soc	Vac	Target	
1	28,9	15,5	0,9	20	219,4	219,4001	0,000100
2	28,9	12,5	0,9	22	220,2	220,1996	0,000400
3	29,6	12,5	0,9	28	219,7	219,6995	0,000500
4	30	12,6	0,9	22	219,7	219,6997	0,000300
5	30,6	12,6	0,8	24	219,7	219,6999	0,000100
6	31,2	12,7	1,1	28	221,1	221,1	0,000000
7	31,6	12,8	1,3	30	219,1	219,0996	0,000400
8	31,8	12,8	1,6	33	220,6	220,6001	0,000100
9	32,1	13	2,2	37	217,4	217,3952	0,004800
10	32,4	13,1	2,8	40	219,4	220,1983	0,798300
11	32,4	13	2,5	40	221	220,1983	0,801700
12	32,6	13	2,2	38	219,4	219,4076	0,007600
13	33,8	13,3	3,6	41	219,4	219,4062	0,006200
14	34	13	2,5	41	218,6	218,5931	0,006900
15	34,1	13	2,1	38	219,6	219,6007	0,000700
16	34	12,9	1,9	37	219,7	219,699	0,001000
17	36,1	13,2	3,1	48	219,3	219,2994	0,000600
18	36,5	13,3	3,5	49	219,3	219,2994	0,000600
19	36,7	13,6	4,4	53	219,1	219,1005	0,000500
20	37,2	13,5	4,4	56	219,5	219,4999	0,000100
21	37	13,3	3,4	56	220,3	220,2996	0,000400
22	39,5	13,4	4,4	52	221,5	221,4994	0,000600
23	40,8	13,3	4,1	58	220,3	220,302	0,002000
24	40,8	13,1	3,2	55	221,1	221,0999	0,000100
25	40,9	13,2	3,5	57	219,9	219,9004	0,000400
26	41,1	13,3	3,6	58	220	219,9995	0,000500
27	41,2	13,4	3,7	58	218,3	218,2976	0,002400
28	41,7	13,5	3,9	61	218,4	218,3998	0,000200

## KESIMPULAN

Berdasarkan proses ANFIS yang telah dilaksanakan maka didapat eror rata-rata dari sistem 1 adalah, 0,000104. Error rata-rata dari sistem 2 dengan output tegangan AC (VAC) adalah 0,058482, sedangkan error rata-rata sistem 2 dengan output arus AC (IAC) adalah 0,013035, dan error rata-rata sistem 2 dengan output frekuensi adalah 0,002261. Kedepannya diharapkan dapat meneliti Pemodelan sistem FV Kedepannya diharapkan dapat meneliti Pemodelan sistem FV dengan sistem *On-grid*, agar

data yang diperoleh dapat lebih akurat, karena sistem FV tidak perlu dibagi menjadi dua (Proses pengisian baterai dan Penggunaan beban).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini saya ucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing telah memberikan kesempatan menjalankan projek penelitian ini. Terutama sekali kepada LPPM Universitas Riau pada Skema Unggulan Universitas yang telah memberikan sokongan dana demi kelancaran penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Anwar Ilmar Ramdhan; Eri Diniardy; Sony Hari Mukti " Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP)", Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2016.

Arpita Yauna Dewi,. Anton Ov. 2012. "Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Suplai Cadangan Pada Laboratorium Elektro Dasar Di Institut Teknologi Padang". Padang : Institut Teknologi Padang.

Azriyenni, M.W.Mustafa. 2015. "Application of ANFIS for Distance Relay Protection in Transmission Line". International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 5(6): p. 1311-1318

Donny T B Sihombing,. Ir. Surya Tarmizi Kasim Msi 2013 "Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum Dan Taman Di Areal Kampus Usu Dengan Menggunakan Teknologi Tenaga Surya (Aplikasi Di Areal Pendopo Dan Lapangan Parkir)", Medan : Universitas Sumatera Utara.

Rudi Salman. 2012. "Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan (*Solar Home System*)". Medan : Universitas Negeri Medan.

Sallama, A., M. Abbod, and P.Turner. 2012. "Neuro Fuzzy System Quality Improvements. In Universities Power Engeneering Conference (UPEC)", 47th International.

Shengyang, H,. S.K. Starrett. 2009. "Modeling Power System Load Using Adaptive Neural Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks. In North American Power Symposium (NAPS)".

Yuanyuan Chai, L.J., and Zundong Zhang, Mamdani Model based Adaptive Neural Fuzzy

Inference System and its Application. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009. 3 (27).