

SOLAR TRACKING SYSTEM SINGLE AXIS PADA SOLAR SEL UNTUK MENGOPTIMALKAN DAYA DENGAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

Istiyo Winarno^{1*}, Firdaus Wulandari²

^{1,2}Teknik Elektro Universitas Hang Tuah Surabaya
Jl. Arif Rahman Hakim 150 Surabaya Jawa Timur 60111
*Email : firdauswulandari10@yahoo.com

ABSTRAK

Pada saat ini salah satu jenis *energy alternative* yang berkembang pesat dan banyak digunakan oleh banyak negara adalah *energy* matahari yang digunakan sebagai pembangkit listrik dalam bentuk sel surya. Teknologi ini dapat mengkonversi intensitas matahari menjadi energi listrik. Dalam pengembangannya diperlukan sebuah sistem pengendali untuk mengoptimalkan daya keluaran sel surya, sistem tersebut bertujuan untuk mengontrol posisi sel surya agar selalu tegak lurus dengan arah matahari secara otomatis. Sistem yang digunakan untuk pengaturan tersebut dinamakan sistem *tracking* matahari dengan kontrol *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Hasil yang diperoleh dari sistem ini adalah sel surya dinamis yang dapat tegak lurus dengan arah matahari sehingga mendapatkan nilai tegangan, arus dan daya yang lebih besar dibandingkan dengan sel surya yang statis.

Kata kunci : *Energy Alternative, Sel Surya, Sistem Tracking, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*

ABSTRACT

At this point one type of energy an alternative that is growing rapidly and much used by many countries are energy the sun used as power plants in the form of solar cells. This technology can convert the intensity of the sun into electrical energy. In developing this required a the control system to optimize power output solar cells , system was aimed to to control position solar cells to be perpendicular to the direction the sun automatically. The system used for these settings is called the sun tracking system with Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) control. The results of this system are solar cells dynamic that can be perpendicular to the direction the sun which resulted voltage value , the stream and the power is greater than in solar cells static .

Keywords : *Energy Alternative, Solae cell, System Tracking, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*

PENDAHULUAN

Masalah *energy* merupakan topik penelitian yang menarik sepanjang peradaban umat manusia. Upaya mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil masih tetap ramai dibicarakan. Terdapat beberapa sumber energi alam yang tersedia sebagai energi alternatif yang bersih, tidak berpolusi, aman dan dengan persediaan yang tidak terbatas. Salah satunya energi alternatif yang hampir mencakup kriteria aman bagi lingkungan adalah energi matahari (Fishbane, 1996).

Solar cell konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n *junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Prinsip kerja dari

solar cell adalah dengan memanfaatkan efek *photovoltaic* (PV, *photo* = cahaya dan *voltaic* = listrik) dalam bentuk sel surya atau *solar cell* yang terbuat dari silikon berkrystal tunggal. Cahaya matahari yang membawa energi akan diterima sel dan diserap ke dalam semi konduktor sehingga mempengaruhi elektron yang ada di dalamnya. Elektron bebas akan digerakkan oleh energi tersebut sehingga mengalir ke arah tertentu. Aliran elektron ini yang dinamakan sebagai arus listrik (Santosa AWB, 2014).

Sistem kendali *tracking* sinar matahari merupakan salah satu pengembangan teknologi dalam rangka konservasi energi dengan memanfaatkan energi matahari. Sistem kendali *tracking* dibuat untuk diterapkan lebih lanjut pada sebuah perangkat panel surya sebagai alat pengumpul energi matahari

sehingga posisi panel surya dinamis (As Habul Kahfi, dkk., 2015).

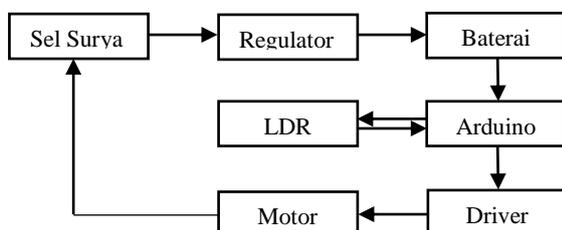
Solar tracking merupakan rangkain *control* yang mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari agar *solar cell* selalu tegak lurus dengan matahari supaya intensitas matahari yang diterima sel surya optimum dengan cara mengatur gerakan motor. Prinsip sistem kendali ini adalah menjejak pergerakan sinar matahari dari matahari terbit sampai tenggelam agar panel selalu tegak lurus dengan matahari sehingga jumlah sinar yang diperoleh maksimal dan menghasilkan daya yang maksimal juga.

Pada penelitian ini dimana sistem tracking sel surya dengan menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* yang ditanam pada Arduino agar dapat mengatur posisi dari panel surya selalu tegak lurus dengan arah matahari untuk dapat mengoptimalkan daya sel surya. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* adalah penggabungan mekanisme *fuzzy inference system* yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Penggunaan metode pada arduino tersebut bertujuan untuk mempercepat cara berfikir sistem untuk menggerakkan sel surya selalu tegak lurus dengan matahari.

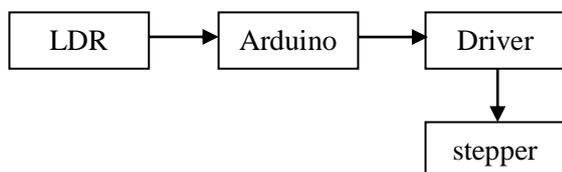
METODE

Perancangan Sistem

Perancangan sistem *solar tracking system single axis* pada sel surya untuk mengoptimalkan daya dengan metode ANFIS dapat terlihat pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem



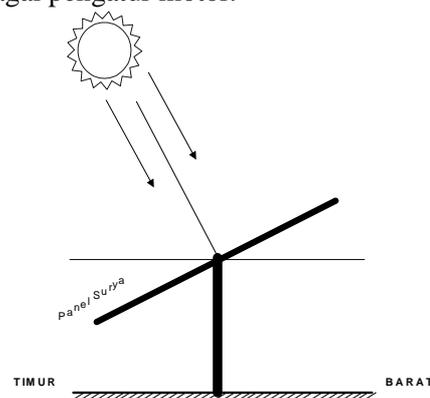
Gambar 2. Diagram Blok Penggerak Sel Surya

Pada diagram blok sistem di atas berawal dari sel surya/*solar cell* sebagai sumbernya. Dimana keluaran dari panel surya berupa tegangan (V_i) dan arus (I_i) yang berasal dari intensitas cahaya matahari. Keluaran dari panel surya diteruskan ke regulator sebagai penyetabil *charging* baterai, dimana baterai adalah sumber dari *load*. Sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* akan mencari nilai intensitas cahaya yang akan mengirim sinyal pada mikrokontroler Arduino yang berfungsi sebagai kontroler.

Penelitian ini menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* untuk mengatur nilai inputan dari Arduino. Data hasil pengontrolan berupa sinyal *Pulse Width Modulation (PWM)* yang kemudian dikirim ke driver motor stepper. Pulsa dari driver kemudian diteruskan ke motor stepper sehingga motor bergerak dan menggerakkan sel surya mengikuti cahaya matahari dengan pergerakan yang lebih *smooth/step by step* untuk menghasilkan daya optimal pada sel surya. Sinyal *PWM horizontal* akan menggerakkan motor dengan putaran *horizontal*. Motor tersebut disusun pada sistem mekanik yang porosnya dapat berputar pada sumbu X, sehingga sel surya bergerak dengan *single axis*.

Perancangan Mekanik

Pada tahap perancangan mekanik, dilakukan perancangan dan pembuatan desain mekanik sistem *tracking* sel surya atau penjejak matahari untuk pengoptimalan daya dengan menggunakan metode kontrol *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* sebagai pengatur motor.



Gambar 3. Solar Tracking Single Axis

Konstruksi mekanik dibuat menggunakan besi pipa 1 dim yang dirancang sedemikian rupa untuk memudahkan pergerakan panel surya dalam perolehan optimasi daya terhadap matahari. Alat tersebut memiliki tinggi 110 cm, panjang penampang panel surya 60 cm. Gambar di bawah ini merupakan desain konstruksi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan panel surya.



Gambar 4. Konstruksi Mekanik Solar Tracking

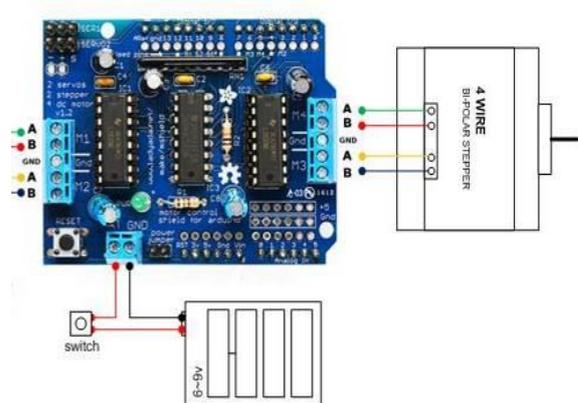


Gambar 5. Penampang Sel Surya

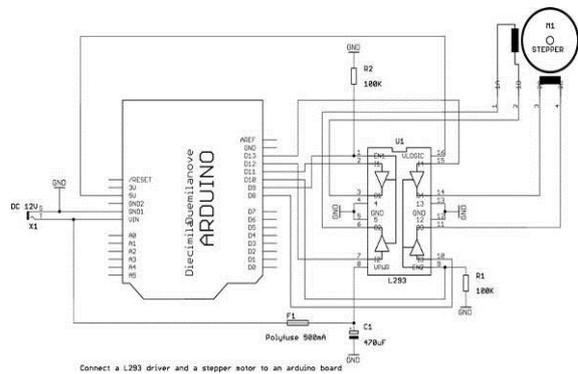
Rangkaian Driver Motor Stepper

Driver motor stepper menggunakan driver shield yang sudah ditentukan oleh arduino dengan menggunakan IC L293. Fungsi

driver untuk memberikan catu daya pada motor dalam bentuk pulsa.



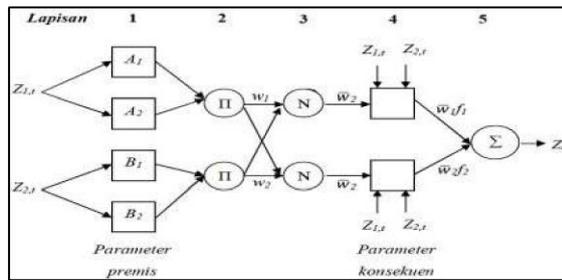
Gambar 6. Rangkaian Driver Motor Stepper



Gambar 7. Rangkaian Dari Arduino Ke Motor Stepper

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Bisadikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi (Kusumadewi, dkk, 2006: 42).



Gambar 8. Arsitektur Jaringan ANFIS

Pada gambar terlihat bahwa arsitektur ANFIS terdiri atas 5 lapis dan setiap lapis mempunyai fungsi yang berbeda. Terdapat simpul disetiap lapisan yang memiliki dua bentuk yang berbeda. Simpul adaptif (bersimbol kotak) dan simpul tetap (bersimbol lingkaran). Fungsi dari setiap lapis adalah sebagai berikut :

Lapisan 1:

Lapisan ini merupakan lapisan *fuzzifikasi*. Pada lapisan ini tiap neuron adaptif terhadap parameter suatu aktivasi. Output dari tiap neuron berupa derajat keanggotaan yang diberikan oleh fungsi keanggotaan input. Misalkan fungsi keanggotaan *Generalized Bell* diberikan sebagai.

$$\mu(Z) = \frac{1}{1 + \left| \frac{Z-c}{a} \right|^{2b}}$$

Dengan Z adalah input, dalam hal ini $Z = \{Z_{1,t}, Z_{2,t}\}$ dan $\{a, b, \text{ dan } c\}$ adalah parameter-parameter, biasanya $b = 1$. Jika nilai parameter-parameter ini berubah, maka bentuk kurva yang terjadi akan ikut berubah. Parameter-parameter ini biasanya disebut dengan nama parameter premis.

Lapisan 2:

Lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol Π) merupakan hasil kali dari semua masukan, sebagai berikut.

$$w_i = \mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}$$

Biasanya digunakan operator *AND*. Hasil perhitungan ini disebut *firing strength* dari sebuah aturan. Tiap neuron merepresentasikan aturan ke- i .

Lapisan 3:

Tiap neuron pada lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol N) merupakan hasil perhitungan rasio dari *firing strength* ke- i (w_i) terhadap jumlah dari keseluruhan *firing strength* pada lapisan kedua, sebagai berikut:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2$$

Hasil perhitungan ini disebut *normalized firing strength*.

Lapisan 4:

Lapisan ini berupa neuron yang merupakan neuron adaptif terhadap suatu output, sebagai berikut.

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i Z_{1,t} + q_i Z_{2,t} + r_i)$$

dengan \bar{w}_i adalah *normalized firing strength* pada lapisan ketiga dan p_i, q_i dan r_i adalah parameter-parameter pada neuron tersebut. Parameter-parameter ini biasadisebut parameter konsekuen.

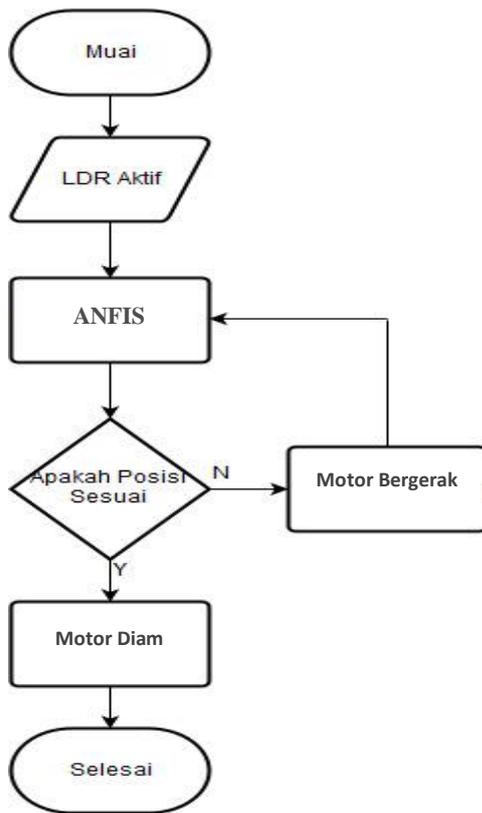
Lapisan 5:

Lapisan ini berupa neuron tunggal (diberi simbol Σ) merupakan hasil penjumlahan seluruh output dari lapisan keempat, sebagai berikut.

$$\sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

Pembuatan Sistem

Pada tahap pembuatan sistem dilakukan proses memprogram alat pada Arduino untuk mengendalikan motor stepper agar bergerak apabila sensor LDR bekerja, tujuan dari pemrograman tersebut adalah agar sel surya selalu tegak lurus dengan matahari sehingga dapat menghasilkan daya yang maksimal. Gambar 4 merupakan diagram alir dari sistem *tracking solar cell* menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS)



Gambar 9. Sistem *tracking solar cell* menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Pada gambar 9 diatas bermula ketika LDR atau sensor cahaya mendapat intensitas cahaya maka LDR akan mengirim sinyal ke arduino, sinyal itu berupa nilai tegangan yang kemudian diproses oleh arduino yang sudah diberi kontroler ANFIS, dalam penelitian kali ini menggunakan perbandingan nilai dari tiap-tiap sensor, motor akan bergerak ke arah nilai intensitas cahaya yang tertinggi.

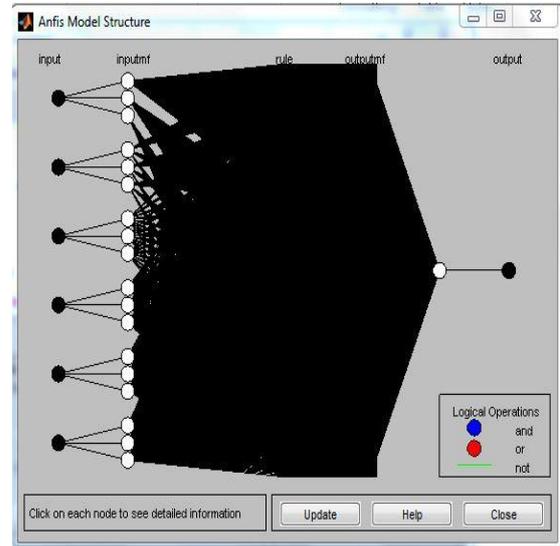
HASIL DAN PEMBAHASAN
Hasil Pemrograman ANFIS

Hasil Pemrograman komputer untuk fungsi keanggotaan ANFIS adalah 5 input intensitas cahaya pada tiap sudut dan 1 input intensitas cahaya pembanding pada sel surya dengan 1 output yang berupa posisi dalam bentuk derajat. Pada gambar 5 tiap input di pecah menjadi 3 bagian dan dipetakan pada setiap bagian hal ini bertujuan untuk memprediksi nilai output yang paling tepat dengan 3 kemungkinan :

Jika nilai $Sp = S1/S2/S3/S4/S5 = solar tracking$ diam

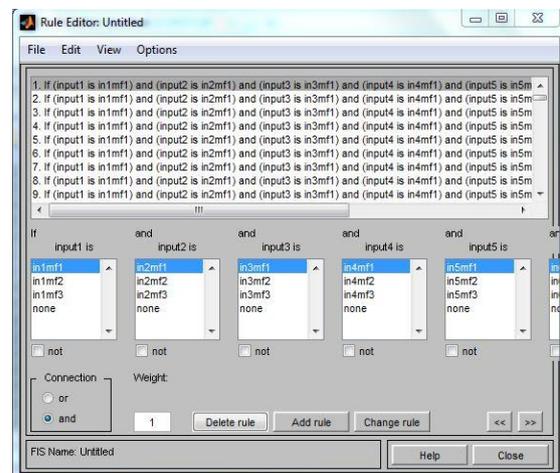
Jika nilai $Sp > S1/S2/S3/S4/S5 = solar tracking$ diam pada titik Sp

Jika nilai $Sp > S1/S2/S3/S4/S5 = solar tracking$ bergerak pada salah satu titik S yang tertinggi



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Output

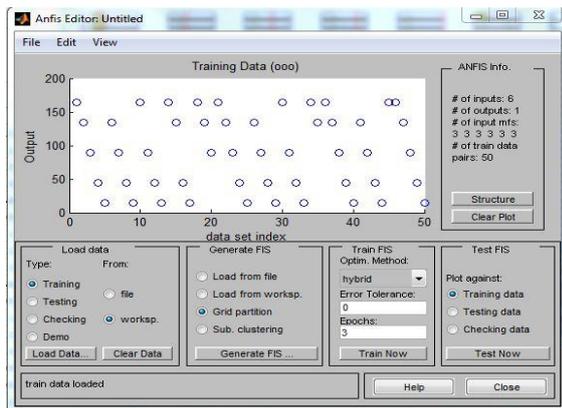
Dalam gambar diatas tiap-tiap input tersebut dibagi jadi 6 fungsi keanggotaan in1, in2, in3, in4, in5 dan in6, tiap in dibagi dalam f1, f2 dan f3. Ada tiga kemungkinan nilai setiap f yaitu sama, lebih besar atau lebih kecil.



Gambar 11. Rule Tiap Fungsi Keanggotaan

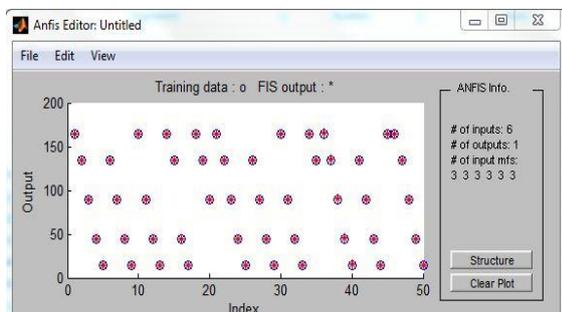
Dari pemetaan tersebut in1, in2, in3, in4, in5 dan in6 sudah jadi variabel fuzzy yang

masing-masing punya nilai m sama, kecil dan besar tertentu. Setiap in mempunyai nilai mf1, mf2 dan mf3.



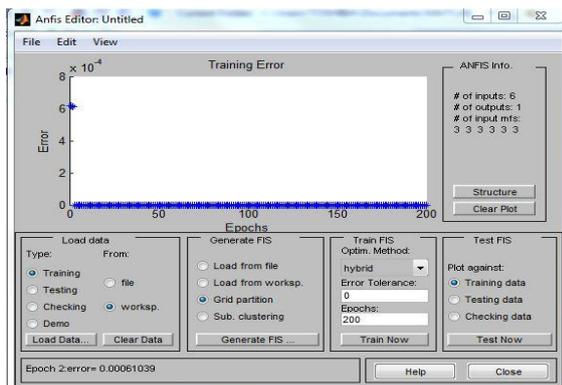
Gambar 12. Data Input Sebelum Di Training

Pada gambar 12 menunjukkan data input sebelum di training atau sebelum menemukan nilai output yang tepat

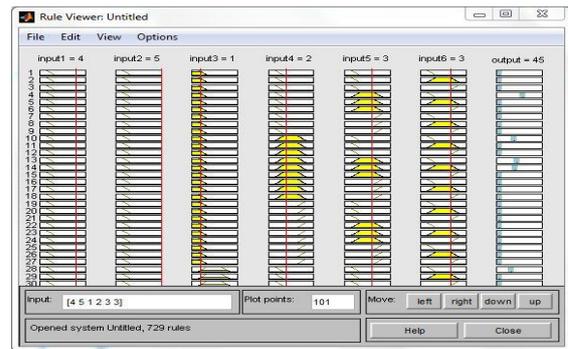


Gambar 13. Data Output Setelah Di Trining

Sedangkan gambar 13 adalah data input setelah detraining dan mendapatkan nilai output yang tepat. Test error data bertujuan untuk mengetahui apakah data yang diinginkan telah sesuai, apabila data tidak sesuai maka muncul error. Pada gambar 8 tingkat error data adalah 0,000061039.

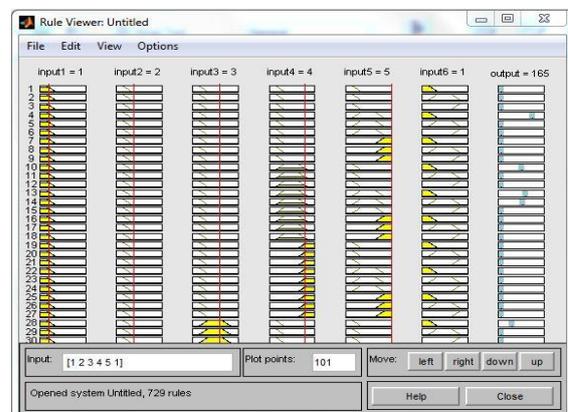


Gambar 14. Test Error Data Input Dan Output



Gambar 15. Hasil Optimasi Intensitas Cahaya Tiap Sudut dan Pembanding Tegangan 3 volt

Hasil optimasi dengan memisalkan in1 = 4, in2 = 5, in3 = 1, in4 = 2, in5 = 3, dan in6 = 3, maka outputnya 45. Dimana in1,2,3,4,5 adalah sensor LDR pada tiap sudut yang dibandingkan dengan sensor pembanding in6 pada sel surya. Ketika nilai in6 bernilai 3 maka akan dibandingkan dengan sensor tiap sudut yang terbesar yaitu in2, dimana in2 berada pada sudut 45 derajat, jadi kemungkinan pergerakan motor hingga pada posisi 45 derajat tepat pada posisi sensor in2 yang berada pada arah timur. Apabila posisi sel surya masih di arah barat maka motor akan bergerak ke arah timur sesuai posisi sensor in2. Namun apabila posisi sel surya sudah berada pada posisi timur namun sudut belum pas maka sel surya akan digerakan mendekati sudut 45 derajat. Dimana pergerakan motor pada penelitian ini hanya menggunakan single axis.

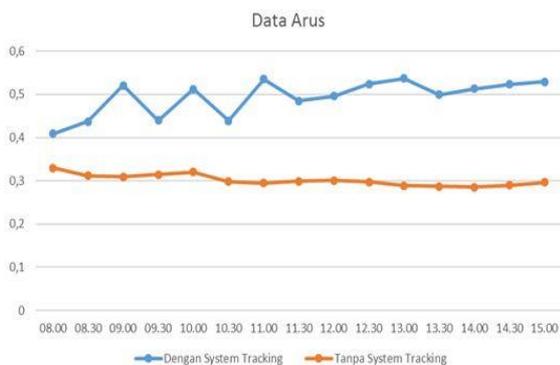


Gambar 16. Hasil Optimasi Intensitas Cahaya Tiap Sudut dan Pembanding Tegangan 1 Volt

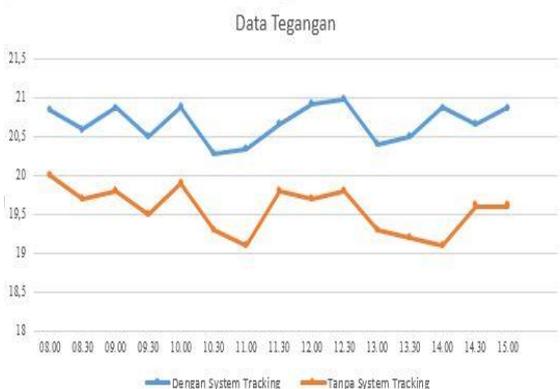
Pecobaan menguji nilai input dan output yang tepat dengan menggeser garis vertical pada variable atau dengan mengganti

Pukul (WIB)	Sel Surya tanpa System Tracking		
	Tegangan(V)	Arus (A)	Daya (Watt)
09.30	19,5	0,314	6,123
10.00	19,9	0,320	6,36
10.30	19,3	0,298	5,75
11.00	19,1	0,295	5,63
11.30	19,8	0,299	5,95
12.00	19,7	0,301	5,92
12.30	19,8	0,297	5,88
13.00	19,3	0,289	5,57
13.30	19,2	0,287	5,51
14.00	19,1	0,285	5,44
14.30	19,6	0,290	5,68
15.00	19,6	0,296	5,8

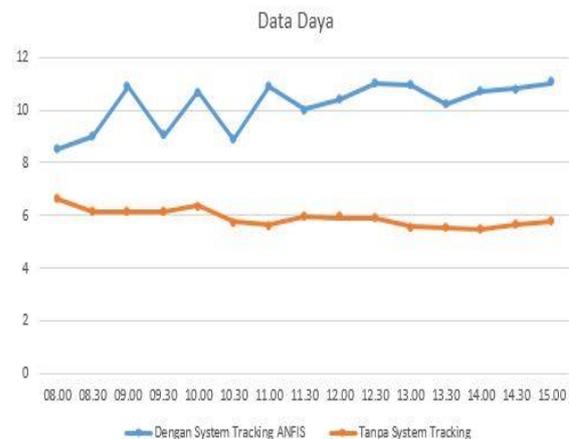
Pengujian diatas merupakan pengujian sel surya dengan sistem tracking dengan menggunakan control ANFIS.



Gambar 18. Grafik Arus dengan system tracking dan tanpa sistem tracking



Gambar 19. Grafik tegangan dengan system tracking dan tanpa sistem tracking



Gambar 20. Grafik daya dengan system tracking dan tanpa sistem tracking

Berdasarkan grafik diatas dijelaskan bahwa tegangan yang dihasilkan sel surya tanpa penjejak menghasilkan tegangan rata-rata 16.9 V sedangkan tegangan yang dihasilkan sel surya dengan penjejak matahari menghasilkan tegangan rata-rata 20.675V. Selanjutnya arus rata-rata pada sel surya tanpa penjejak sebesar 0.382 A sedangkan arus rata-rata pada sel surya dengan menggunakan penjejak matahari sebesar 0.493 A. Sedangkan daya yang dihasilkan sel surya tanpa penjejak rata-rata sebesar 5.898 W dan sel surya dengan penjejak matahari memiliki daya rata-rata sebesar 10.2 W

Dari data yang telah didapatkan, dapat terlihat bagaimana sel surya yang dilengkapi dengan sistem penjejak matahari mempunyai daya output yang lebih besar daripada sel surya tanpa sistem penjejak.

Perhitungan Efisiensi Sistem Menggunakan Kontrol ANFIS

Perhitungan efisiensi sistem tanpa menggunakan kontrol ANFIS ini diambil dari pukul 08.00 samapi pukul 15.00 dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi sel surya adalah 20 watt DC atau di simbolkan $P_{output} = 20\text{watt DC}$:

1. Pengambilan data dengan kontrol ANFIS

$$\frac{P_{input}}{P_{output}} \times 100\% = \frac{10,2}{20} \times 100 = 51\%$$

Dimana 10,2 merupakan hasil daya rata-rata sel surya dengan menggunakan sistem tracking. Setelah di tunjukkan data-data di atas yang mana adalah data penyerapan daya sel surya yang di ambil dengan menggunakan sistem kontrol ANFIS dimana menghasilkan efisiensi penyerapan daya sebesar 51% dari kemampuan maksimum penyerapan daya sel surya yang seharusnya bisa menghasilkan $\pm 20\text{Watt DC}$ berdasarkan spesifikasi yang tertulis.

Perhitungan Efisiensi Sistem Tanpa Menggunakan Kontrol ANFIS

Perhitungan efisiensi sistem menggunakan kontrol ANFIS ini, diambil pukul 08.00 samapai pukul 15.00 dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi sel surya adalah 20 watt dc atau di simbolkan $P_{max} = 20\text{watt DC}$:

1. Pengambilan data tanpa kontrol ANFIS

$$\frac{P_{input}}{P_{output}} \times 100\% = \frac{5,893}{20} \times 100 = 29,49\%$$

Dimana 5,893 merupakan hasil daya rata-rata sel surya tanpa menggunakan system tracking. Setelah di tunjukkan data-data di atas yang mana adalah data penyerapan daya sel surya yang di ambil dengan menggunakan sistem kontrol ANFIS dimana menghasilkan efisiensi penyerapan daya rata-rata sebesar

29,49% dari kemampuan maksimum penyerapan daya sel surya yang seharusnya bisa menghasilkan $\pm 20\text{Watt DC}$ berdasarkan spesifikasi yang tertulis.

Perhitungan Selisih Efisiensi Sistem Dengan Menggunakan Dan Tanpa Menggunakan Kontrol ANFIS

$$\begin{aligned} \Delta \text{Efisiensi Daya} &= P_{ANFIS} - P_{\text{tnp ANFIS}} \\ &= 51\% - 29,49\% \\ &= 21,51\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas bahwa selisih efisiensi daya ketika menggunakan system tracking dan tanpa sistem tracking adalah 21.51 %. Penyerapan daya mengalami peningkatan ketika menggunakan sistem tracking dari kemampuan maksimum penyerapan daya sel surya yang seharusnya bisa menghasilkan $\pm 20\text{Watt DC}$ berdasarkan spesifikasi yang tertulis.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengujian pada sel surya dengan menggunakan sistem *tracking single axis* berbasis kontrol ANFIS ini dapat menghasilkan daya sebesar 51% dari daya *output maximum* sel surya sebesar 20 watt DC. Sedangkan sel surya statis atau sistem tanpa kontrol ANFIS hanya mampu menghasilkan daya sebesar 29.49% dari daya *output maximum* sel surya sebesar 20 watt DC. Selisih efisiensi daya ketika menggunakan sistem tracking dan tanpa sistem tracking adalah 21.51 %. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan perbaikan pada rangkaian mekanis dengan merubah sistem menjadi *dual axis* sehingga mampu untuk bekerja lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Kahfi, A., Firdaus & Mohammad, H. H. 2015. *Rancang Bangun Sistem Kendali Tracking Sinar Matahari Dengan Logika Fuzzy*. SEMANTIK.
- Fishbane, P.M., Gasirowicz, S., and Thornton, S.T., 1996: *Physics For Scientists and engineers*, 2nd edition, Prentice-hall, New Jersey.
- Putra, W. 2008. *Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada*

- Solar Cell*. Skripsi tidak diterbitkan.
Depok: Universitas Indonesia
- Santosa AWB, Mulyatno P. 2014. *Pemanfaatan Tenaga Angin Dan Surya Sebagai Alat Pembangkit Listrik Pada Bagan Perahu*. Jurnal Kapal, Vol. 11, No. 3
- Simatupang, S., Susilo, B., dan Hermanto, M.B., 2012, *Rancang Bangun dan Uji Coba Solar Tracker pada Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Atmega16*, Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem, Universitas Brawijaya, Malang
- Kusumadewi, S & Hartati S. 2006. *Neuro Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Hani'ah, U. 2015. *Implementasi Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis) Untuk Peramalan Pemakaian Air Di Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Moedal Semarang*. Skripsi tidak diterbitkan. Semarang : Universitas Negeri Semarang