

Simulasi Sensor Radiasi Matahari dengan Algoritma ANFIS menggunakan MATLAB

Umar Muhammad

Politeknik Bosowa

Jl. Kapasa Raya, No. 23, Tamalanrea-Makassar, 9024

Email: umar.muhammad@politeknikbosowa.ac.id

Abstrak

Energi matahari menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. solar sel digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. radiasi matahari menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan sel surya atau sistem pembangkit tenaga surya. Oleh karena itu perlu dikembangkan alat ukur radiasi matahari. Penelitian ini merupakan simulasi sel surya sebagai sensor radiasi matahari dengan menggunakan algoritma ANFIS untuk menghitung nilai radiasi matahari berdasarkan tegangan dan arus dari sel surya. Simulasi menggunakan Matlab dengan fitur sel surya dan tahanan 12 ohm serta fitur ANFIS dan blok Fuzzy diperoleh bahwa simulasi menunjukkan hasil yang baik dengan error 0.038%, pengembangan penelitian berikutnya dengan menguji pada perangkat sel surya

Kata Kunci: Piranometer, sel surya, ANFIS

Abstract

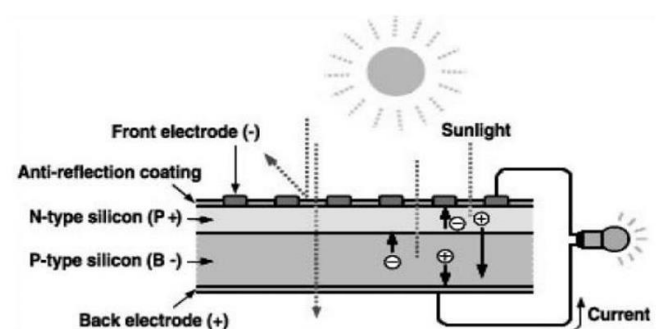
Solar energy has become one of the renewable energy sources that can be converted into electrical energy. Solar cells are used to convert solar energy into electrical energy. Solar radiation is an important factor to consider in the use of solar cells or solar power generation systems. Therefore, it is necessary to develop a solar radiation measurement device. This research is a simulation of a solar cell as a solar radiation sensor using the ANFIS algorithm to calculate the solar radiation value based on the voltage and current from the solar cell. The simulation, conducted using Matlab with solar cell features, a 12-ohm resistor, ANFIS features, and a Fuzzy block, showed good results with an error rate of 0.038%. Future research development will involve testing on actual solar cell devices

1. Pendahuluan

Energi merupakan kemampuan melakukan kerja atau daya yang dibutuhkan dalam berbagai proses seperti listrik, mekanik, panas dan yang lainnya [[1]. Salah satu sumber energi yaitu energi terbarukan yang tersedia di alam semesta dan merupakan energi bersih [1]. Energi listrik menjadi salah satu energi yang sangat dibutuhkan [2], [3], [4], [5], [6]. Energi listrik dapat diperoleh dari energi terbarukan. Dari beberapa energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik, saat ini lagi berkembang adalah konversi energi matahari menjadi energi listrik [1], [4], [5], [6], [7], [8]. konversi energi ini menggunakan solar sel tau sel surya [1], [4], [5], [7], [8], [9].

Sel surya merupakan komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor berupa silicon (Si) [1], [6], [8]. Sel surya tersusun dari lapisan-lapisan semikonduktor tipe N dan tipe P dengan subsrat logam sebagai penghantar arus. Bahan semikonduktor tipe N dan Tipe P membentuk P-N junction[6]. Elektron pada semikonduktor tipe N dapat mengalir melalui P-N Junction setelah

mendapat sinar matahari, sehingga electron tersebut memiliki energi yang cukup. Perpindahan elektron tersebut akan menghasilkan arus listrik berupa arus DC [6]. Gambaran umum prinsip kerja sel surya disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja solar sel

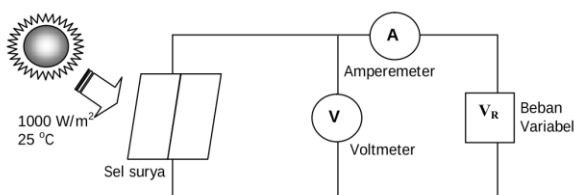
Besar radiasi matahari yang dikonversi menjadi listrik dapat diukur menggunakan pyranometer [4], [8]. Seiring dengan pemanfaatan matahari sebagai sumber energi listrik menggunakan sel surya yang dirangkai sehingga membentuk panel surya yang kemudian

dirangkai lagi menjadi sistem pembangkit listrik tenaga surya [1], [4], [5], [10], [11], [12]. Dalam perancangan maupun analisis kinerja PLTS tersebut dibutuhkan alat ukur radiasi matahari. Terdapat beberapa jenis alat ukur pyranometer [8], namun peneliti telah mengembangkan alat ukur radiasi matahari dengan menggunakan sel surya sebagai sensor [4], [8]

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yakni pyranometer berbasis data logger untuk memudahkan pengambilan data[8]. kemudian dikembangkan menjadi sistem akuisisi data radiasi matahari berbasis web untuk memudahkan dalam pencatatan dan pengolahan data[8]. Kemudian peneliti mengembangkan lagi menjadi solar power meter berbasis IoT [4]. Alat ukur yang dikembangkan masih menggunakan 2 sensor yaitu sel surya dan sensor suhu sesuai dengan kebutuhan formula[4].

$$E_i(n+1) = \frac{I_{sc} \times T_{ci} \times (T(n-TN))}{I_{sc} + T_{ci} \times (T(n-TN))} \quad (1)$$

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan bukan hanya berkembang pada teknologi informasi akan tetapi juga ikut merambah beberapa sektor termasuk dalam pengembangan teknologi energi terbarukan. Dalam sistem pengukuran pengurangan jumlah sensor dapat menjadi sebuah alternatif untuk meminimalisir biaya produksi. Pengembangan pengukuran radiasi matahari hanya menggunakan sel surya atau luaran dari sel surya seperti gambar 2 tersebut telah disimulasikan menggunakan algoritma ANFIS [12]. Simulasi ini dapat dilakukan pada MATLAB menggunakan Simulink dan fitur fuzzy [1], [6], [10], [12].



Gambar 2. Pengukuran luaran sel surya [9]

ANFIS (Adaptif Neuro-fuzzy Inference System) merupakan metode kecerdasan buatan yang menggabungkan fuzzy inference system[5], [13] dengan jaringan syaraf tiruan. Arsitektur ANFIS menggunakan sistem MISO

(Multiple input single output) yang banyak digunakan untuk prediksi dan sistem kontrol [14]. ANFIS terdiri dari 5 (lima) lapisan seperti pada gambar 3 yaitu [11], [12], [14] :

- Lapisan Fuzzifikasi :

Input akan dirubah menjadi derajat keanggotan, misalnya kurva lonceng seperti formula 2,

$$Q_1 = \mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_i - c}{a} \right|^{2b}} \quad (2)$$

- Lapisan Aktifasi aturan

Menghitung kekuatan aktifasi dari operator fuzzy seperti formula 3,

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(X_1) \times \mu_{B_i}(X_2); i = 1, 2 \quad (3)$$

- Lapisan Normalisasi Aktifasi

Normalisasi kekuatan aktifasi terhadap total, seperti formula 4,

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j} = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad (4)$$

- Lapisan Inferensi

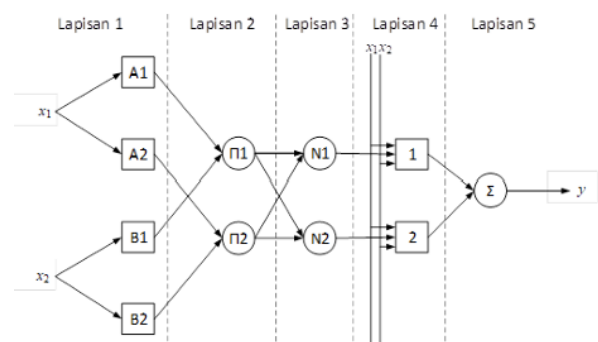
Perkalian nilai normalisasi aktifasi dengan fungsi linier seperti formula 5,

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = w_i (p_i X_1 + q_i X_2 + r_i) \quad (5)$$

- Lapisan defuzzyfikasi

Menghitung nilai akhir dari luaran dengan formula 6,

$$O_{5,i} = y_i = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (6)$$



Gambar 2. Arsitektur ANFIS [9]

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif menggunakan metode eksperimental. Eksperimen dilakukan dengan simulasi menggunakan software MATLAB R2016a. Perancangan sensor radiasi matahari

menggunakan model sel surya sebagai sensor dan algoritma anfis untuk menentukan radiasi matahari berdasarkan hasil training. Penelitian dilaksanakan dalam 3 (tiga) tahap, yaitu tahap pembuatan data set, tahap training anfis dan tahap pengujian data anfis dengan sensor sel surya. Pada tahap pembuatan dataset digunakan rangkaian yang terdiri dari sel surya dengan spesifikasi seperti yang diajikan pada tabel 1 dan resistor 12 ohm sebagai beban, gambar rangkaian seperti tampak pada gambar 3. Data input rangkaian berupa suhu yang diset pada nilai 30°C dan Radiasi matahari yang diset dari 50 W/m^2 sampai 1000 W/m^2 dengan interval 50 W/m^2 , sedangkan data keluaran rangkaian ini berupa data arus dan tegangan seperti diperlihatkan pada tabel 2. Pada tahap kedua simulasi menggunakan fitur anfis. Simulasi ini untuk mencari member function arus dan tegangan dengan beberapa langkah yaitu,

- Menginput dataset ke workspace MATLAB
- Membuka tool box neuro fuzzy designer dan menginput dataset dari workspace seperti ditunjukkan pada gambar 4.
- Menguji member function dari 3 sampai 6
- Mencari nilai error terkecil dari kombinasi member function

Tahap ketiga menguji kembali data rules tersebut menggunakan blok fuzzy pada simulink seperti tampak pada gambar 5.

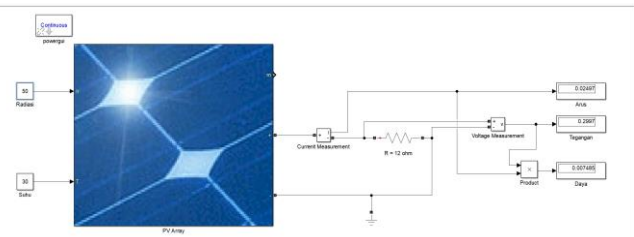
Tabel 1. Spesifikasi Sel Surya

Besaran	Nilai	Satuan
VOC	5.5	Volt
Vmp	5	Volt
Isc	0.5	Ampere
Imp	0.4	Ampere
Pmp	2	Watt

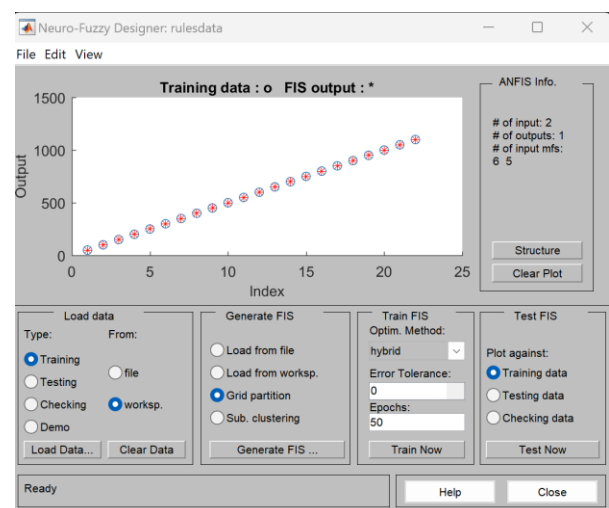
Tabel 2. Keluaran Sel Surya

E(W/m ²)	V(Volt)	I (Ampere)
50	0.2997	0.02497
100	0.5957	0.04964
150	0.888	0.074
200	1.177	0.09807
250	1.462	0.1218
300	1.744	0.1453
350	2.022	0.1685
400	2.298	0.1915
450	2.569	0.2141
500	2.838	0.2365
550	3.104	0.2586
600	3.366	0.2805
650	3.625	0.3021

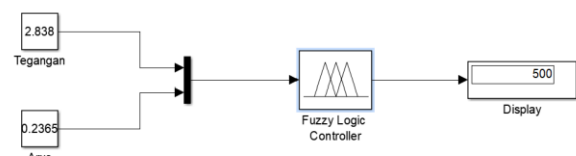
700	3.882	0.3235
750	4.134	0.3445
800	4.381	0.365
850	4.613	0.3844
900	4.812	0.401
950	4.963	0.4136
1000	5.066	0.4222
1050	5.149	0.4291
1100	5.198	0.4332



Gambar 3. Gambar Rangkaian Sel Surya



Gambar 4. Training data set pada ANFIS



Gambar 5. Pengujian data rules dengan blok fuzzy

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

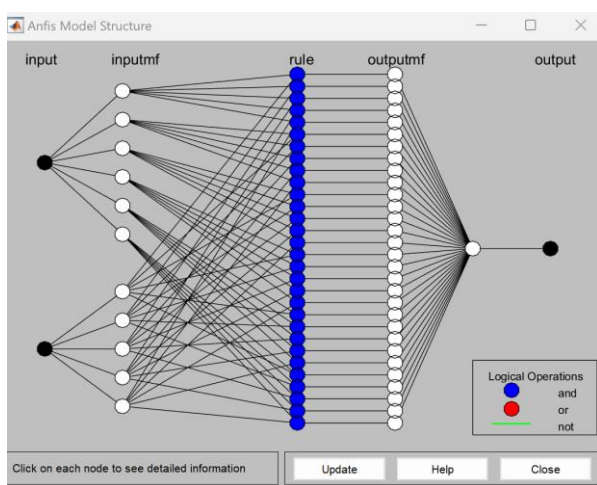
Hasil Training anfis dilakukan dengan menguji semua jenis membership function (mf) seperti trimf, gbellmf, gaussmf, gauss2mf, pimf, dsigmf, dan psigmf mulai dari kombinasi 3 sampai 6 member function masing-masing tegangan dan arus. Training tersebut memberikan hasil dengan nilai error terkecil pada gbellmf dengan 6 member function untuk tegangan dan 5 member function untuk arus. Hasil training anfis

disajikan pada tabel 3 dan struktur ANFIS diperoleh 5 layer, dengan 2 pada layer input, 11 pada layer member function dan 30 pada layer rule menggunakan logikan AND dan 1 pada layer output seperti tampak pada gambar 6.

Tabel 3. Hasil Uji Membership Function

mf	3 3	4 3	4 4	5 4	5 5	6 5	6 6
trimf	3.7314	2.0144	2.3886	2.6929	0.98304	1.9137	1.8839
trapmf	1.3016	6.5775	6.5761	4.7029	2.2272	3.6363	3.634
gbellmf	5.1284	1.3623	1.7051	1.2811	1.5891	0.35386	1.0493
gaussmf	4.2459	3.1108	2.417	2.2292	1.1499	1.8383	1.7359
gauss2mf	3.4897	1.8042	5.017	1.5918	1.7321	1.4333	2.9348
pimf	2.4146	7.1406	6.5895	6.1977	1.2317	3.6351	3.634
dsigmf	1.035	4.3021	5.0515	2.7078	0.73736	2.6908	2.7914
psigmf	1.0325	4.3021	5.0515	2.7078	0.73736	2.6908	2.7914

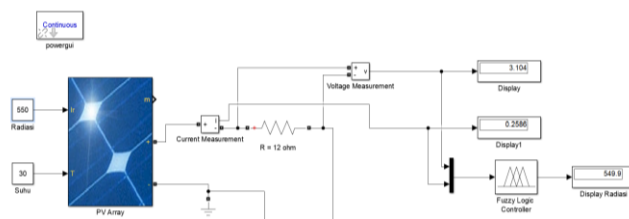
300	300	0.000
350	350.1	0.029
400	399.9	0.025
450	450.1	0.022
500	500	0.000
550	549.9	0.018
600	600	0.000
650	650.1	0.015
700	700	0.000
750	749.9	0.013
800	799.9	0.013
850	849.9	0.012
900	899.9	0.011
950	949.7	0.032
1000	999	0.100
1050	1048	0.190
1100	1104	0.364
Rata-rata galat =		0.038



Gambar 6. Pengujian data rules dengan blok fuzzy

3.2 Pembahasan

Penelitian ini kemudian menguji hasil dari ANFIS pada rangkaian sensor radiasi matahari seperti terlihat pada gambar 7. Hasil pengujian disajikan pada tabel 4.

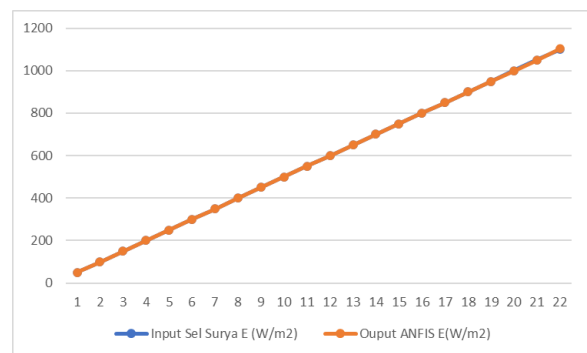


Gambar 7. Rangkaian pengujian sel surya dan ANFIS

Tabel 4. Galat Inpus Sensor dan Output

Input Sel Surya E (W/m ²)	Output ANFIS E (W/m ²)	Galat (%)
50	50	0.000
100	100	0.000
150	150	0.000
200	200	0.000
250	250	0.000

Data pengujian tersebut menunjukkan bahwa error dari keluaran ANFIS jika dibandingkan dengan data radiasi yang diinputkan pada sensor sel surya sangat kecil hanya 0.038%. pada tabel dapat diamati bahwa galat mulai naik seiring dengan kenaikan nilai input sensor. Jika data perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik maka diperoleh seperti yang tampak pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengujian sel surya dengan ANFIS

Pada grafik dapat diamati bahwa nilai input radiasi matahari pada sensor sel surya dan nilai radiasi matahari pada output ANFIS sejaris. Sehingga dapat dinyatakan bahwa rangkaian ini berhasil mengukur radiasi matahari dengan baik.

4. Kesimpulan dan Saran

Simulasi Sensor radiasi matahari dengan algoritma anfis menggunakan MATLAB diperoleh hasil bahwa :

1. Algoritma ANFIZ menghasilkan 11

- member function dan 30 rules
2. Nilai galat antara data radiasi yang diinputkan pada sensor sel surya dan data radiasi yang dihasilkan oleh algoritma ANFIS sangat kecil hanya 0.038%.
 3. Simulasi ini dinyatakan memberikan hasil yang sangat baik

Penelitian ini akan terus dilanjutkan dengan pengujian langsung pada sel surya yang sebenarnya dengan menggunakan teknologi mikrokontroler.

5. Ucapan Terimakasih

Peneliti menyampaikan terimakasih atas dukungan dosen – dosen Teknik Elektro Unhas dan Politeknik Bosowa.

Referensi

- [1] Y. Dewantoro, H. Politeknik, and N. Semarang, "Simulasi Solar Cell Dan Solar Module Dengan Matlab Simulink Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Numerical Estimation of Photovoltaic-Electrolyzer System Performance on the Basis of a Weather Database View project 3D printing View project Fatahul Arifin Sriwijaya State Polytechnic." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/367241408>
- [2] K. Dahlan, K. N. Anou, D. Napitupulu, and H. Hamzah, "Simulasi dan Pemodelan Sistem Optimalisasi Daya Panel Surya Menggunakan Metode Pelacakan Titik Daya Maksimum," *SAINTIFIK*, vol. 10, no. 1, pp. 6–12, Jan. 2024, doi: 10.31605/saintifik.v10i1.462.
- [3] T. Astari Trisnandini, N. Desryanto, and I. Kgs, "SISTEM MONITORING EFEKTIVITAS KINERJA PANEL SURYA DENGAN PENAMBAHAN REFLEKTOR BERBASIS MIKROKONTROLER," *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, pp. 1–13, Aug. 2022, doi: 10.25105/jetri.v20i1.13797.
- [4] U. Muhammad, S. Mustafa, and S. Sofyan, "Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Solar Power Meter Berbasis Internet of Things (IoT)," Makassar, Sep. 2021. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout->
- [5] T. Pangaribowo, "Implementasi Algoritma Logika Fuzzy Dalam Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat Off Grid," 2016.
- [6] Y. D. Herlambang, J. D. Armanah, Z. Emazin, A. H. Su'udy, N. F. Aulia, and F. Arifin, "UNJUK KERJA KARAKTERISTIK TEGANGAN ARUS DAN DAYA PADA PANEL SURYA TERHADAP VARIASI RADIASI SURYA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK," 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/367241475>
- [7] U. Muhammad, "Rancang Bangun Trainer Pembangkit Listrik Tenaga surya."
- [8] U. Muhammad, S. N. Fitri, and A. A. Rahmansyah, "Rancang Bangun Monitoring Data Pyranometer Berbasis Website," 2020.
- [9] F. A. Widiharsa, "KARAKTERISTIK PANEL SURYA DENGAN VARIASI INTENSITAS RADIASI DAN TEMPERATUR PERMUKAAN PANEL," *TRANSMISI*, vol. 4, pp. 233–242, 2006.
- [10] F. Midiatmoko, Y. Shalahuddin, and M. Yahya, "PV SOLAR TRACKER BERBASIS MATLAB / SIMULINK UNTUK OPTIMASI DAYA."
- [11] G. Sarjana, J. Teknik, E. Fakultas, A. E. Jayati, and S. M. Eng, "Implementasi Kendali cerdas Adaptive Neural Based Fuzzy Inference System (ANFIS) Pada Sistem MPPT-PV (Photovoltaic)."
- [12] S. Syafaruddin, M. Iqbal Abubakar, H. Glorius Soma, S. Mawar Said, and S. Latief, "DETERMINATION OF SENSORLESS INPUT PARAMETERS OF SOLAR PANEL WITH ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) METHOD," *International Journal of Innovative Computing*, vol. 14, no. 6, 2018, doi: 10.24507/ijicic.14.06.xxx.

- [13] T. S-, “SISTEM MONITORING DAN KONTROL DAYA PLTS MENGGUNAKAN IOT BERBASIS FUZZY LOGIC.” Single-Axis Berbasis ANFIS,” *Seminar Nasional TEKNOKA*, vol. 9, pp. E50–E58, 2024.
- [14] F. S. Abdillah, S. Pinardi, and H. Ramza, “Perancangan Sistem Solar Tracker