

OPTIMASI PENANGKAPAN UV PADA *SOLAR TRACKING SINGLE AXIS* MENGGUNAKAN METODE *BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK*

Muhammad Fathoni

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : muhammadfathoni16050874044@mhs.unesa.ac.id

Subuh Isnur Haryudo, Achmad Imam Agung, Unit Three Kartini

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : subuhisnur@unesa.ac.id, achmadimam@unesa.ac.id, unitthreekartini@unesa.ac.id

Abstrak

Modul fotovoltaik merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik, akan tetapi modul fotovoltaik masih memiliki efisiensi yang rendah dalam hal konversi energi surya menjadi energi listrik. Banyak metode telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dari modul fotovoltaik, salah satu metode yang dapat dikembangkan adalah dengan menggunakan sistem *solar tracking*. Sistem *solar tracking* mampu untuk menjaga modul fotovoltaik agar tetap tegak lurus terhadap matahari sehingga modul fotovoltaik dapat menyerap lebih banyak sinar UV. Oleh karena itu penggunaan *solar tracking* sangat penting karena dapat memaksimalkan penangkapan UV pada modul fotovoltaik. Penulisan artikel ini bertujuan untuk memaksimalkan penangkapan UV melalui penggunaan metode *Backpropagation Neural Network* (BP-NN) sebagai kontrol pada *solar tracking single axis*. Masukan terhadap sistem ini berupa data intensitas cahaya yang diperoleh dari *Light Dependent Resistor* (LDR). Data dari sensor LDR diolah menggunakan metode BP-NN yang telah ditanam pada mikrokontroler untuk menggerakkan *solar tracker* berdasarkan selisih pembacaan sensor yang akan memutuskan arah dan kecepatan pergerakan *solar tracker*. Keluaran dari *solar tracker* menggunakan BP-NN dibandingkan dengan keluaran *solar tracker* tanpa menggunakan BP-NN. Hasil dari penelitian ini terbukti mampu memaksimalkan penangkapan cahaya matahari yang berpengaruh dalam produksi energi listrik. Solar tracker dengan metode BP-NN menghasilkan keluaran 6,79 % lebih banyak dibandingkan dengan modul fotovoltaik statis.

Kata kunci : *solar tracking*, BP-NN, modul fotovoltaik

Abstract

Photovoltaic modules are devices used to convert solar energy into electrical energy, but photovoltaic modules still have low efficiency in terms of converting solar energy into electrical energy. Many methods have been developed to improve the efficiency of photovoltaic modules, one method that can be developed is to use a solar tracking system. The solar tracking system is able to keep the photovoltaic module so that it is perpendicular to the sun so that the photovoltaic module can absorb more UV light. Therefore the use of solar tracking is very important because it can maximize UV capture in the photovoltaic module. The writing of this article aims to maximize UV capture through the use of the Backpropagation Neural Network (BP-NN) method as a control on single axis solar tracking. Input to this system is in the form of light intensity data obtained from Light Dependent Resistors (LDR). Data from the Light Dependent Resistor sensor is processed using the BP-NN method that has been planted on the microcontroller to drive the solar tracker based on the sensor reading difference which will decide the direction and speed of the solar tracker movement. The output of the solar tracker uses BP-NN compared to the output of the solar tracker without using BP-NN. The results of this study proved to be able to maximize the capture of sunlight which influences the production of electrical energy. Solar tracker with BP-NN method produces 6.79% more output compared to static photovoltaic modules.

Keywords : solar tracking, BP-NN, photovoltaic module

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir beberapa faktor seperti meningkatnya populasi penduduk, peningkatan konsumsi per kapita, serta peningkatan taraf hidup masyarakat menyebabkan kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia yang sangat penting dan vital sehingga kebutuhan akan

energi listrik tidak dapat dilepaskan dari kehidupan sehari-hari mulai dari industri hingga rumah tangga. Sehingga energi listrik harus tersedia secara terus menerus dan dapat memenuhi kebutuhan beban listrik yang semakin tinggi sebanding terhadap bertambahnya penduduk dan kemajuan teknologi.

Penggunaan energi listrik yang semakin meningkat menjadi indikator meningkatnya kemakmuran suatu

masyarakat. Akan tetapi penggunaan bahan bakar minyak bumi dan batu bara semakin meningkat juga. Tentu hal ini akan menyebabkan pencemaran lingkungan dan pemanasan global. Oleh karena itu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh energi listrik harus terus dikembangkan.

Menurut data radiasi matahari yang dikumpulkan dari 18 Wilayah di Indonesia, radiasi matahari di Indonesia dapat dikategorikan berturut-turut sebagai berikut (Yandri, 2012).

1. Wilayah Indonesia Barat (WIB) dengan distribusi penyinaran sebesar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan 10%.
2. Wilayah Indonesia Timur (WIT) dengan distribusi penyinaran kurang lebih sebesar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

Sehingga energi surya menjadi salah satu sumber tenaga listrik yang berpotensi besar jika dikembangkan di Indonesia.

Energi matahari adalah sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan limbah dalam proses konversinya menjadi listrik, sehingga sumber energi terbarukan seperti modul fotovoltaik harus terus dikembangkan, beberapa faktor menentukan efisiensi dari panel surya tersebut. Seperti jenis modul fotovoltaik yang digunakan, sudut pemasangan modul fotovoltaik, kondisi cuaca, besarnya intensitas radiasi matahari serta suhu dari sel surya (Shokouhimehr, 2020)

Pada saat ini masih banyak penggunaan modul fotovoltaik yang dipasang secara statis. Mengingat modul fotovoltaik dapat bekerja dengan optimal jika tegak lurus dengan matahari, sehingga Ketika matahari bergerak dari arah timur ke barat modul fotovoltaik tidak akan lagi maksimal Ketika matahari sudah tidak tegak lurus dengan modul fotovoltaik Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk mengarahkan modul fotovoltaik supaya tepat menghadap arah datangnya cahaya matahari itu dikenal sebagai metode penjejak arah gerak matahari.

Oleh karena itu dibutuhkan alat yang dapat menjaga agar modul fotovoltaik tetap tegak lurus terhadap matahari, alat tersebut disebut *solar tracker*. Komponen utama *solar tracker* adalah sensor yang berfungsi untuk mengetahui posisi matahari, motor DC sebagai aktuator, dan *microcontroller* sebagai otak dari *solar tracker* tersebut (Hafezh, 2018).

KAJIAN TEORI

Modul Fotovoltaik

Modul fotovoltaik atau sel surya merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah tenaga matahari menjadi energi listrik. Modul fotovoltaik

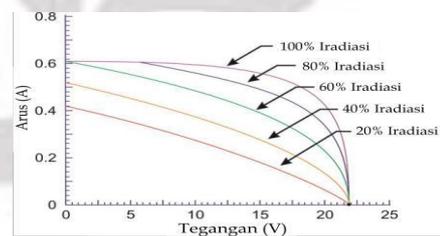
sendiri terdiri dari beberapa komponen *photovoltaic* atau komponen yang dapat mengubah cahaya (photo) menjadi listrik (voltaic). Modul fotovoltaik terdiri dari lapisan silikon yang bersifat semikonduktor, metal, lapisan anti reflektif, dan strip konduktor metal. Lapisan-lapisan inilah yang berfungsi menghasilkan listrik. Berdasarkan bahan dasar pembuatannya, modul fotovoltaik terbuat dari 3 macam bahan, diantaranya adalah *Policrystalline*, *Monocrystalline*, dan *Silicon Hybrid* (Ray, 2016).

Faktor-faktor yang mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik

Dalam hal memproduksi energi listrik, modul fotovoltaik dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantara faktor faktor yang mampu mempengaruhi daya keluaran dari suatu modul fotovoltaik adalah sebagai berikut :

1. Iradiasi

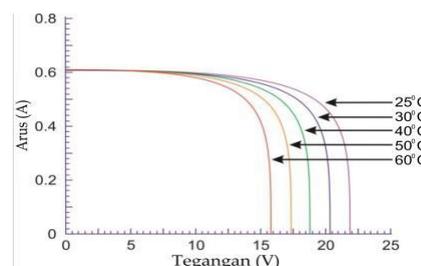
Ketika nilai iradiasi matahari menurun, maka arus yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik akan ikut menurun dengan proporsional, sedangkan variasi dari tegangan tanpa beban sangatlah kecil. Adapun pengaruh iradiasi terhadap kurva I-V dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik Kurva I-V Terhadap Iradiasi (Sumber : Prabowo, 2020)

2. Suhu

Seperti semua perangkat semikonduktor lainnya, solar cell juga sensitif terhadap perubahan suhu. Panas akan mengakibatkan aliran elektron pada modul fotovoltaik akan terganggu sehingga daya yang dihasilkan akan menurun seiring dengan peningkatan suhu solar cell. Adapun pengaruh suhu terhadap kurva I-V dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik Kurva I-V Terhadap Suhu (Sumber : Prabowo, 2020)

3. Bayangan

Sebagian dari modul fotovoltaik (satu atau lebih sel) mungkin dibayangi atau terhalangi oleh pepohonan, daun yang jatuh, gedung dan lain-lain. Pada khusus shading ini, cell surya yang tertutupi akan berhenti memproduksi energi listrik dan berubah menjadi beban pasif.

Solar Tracking

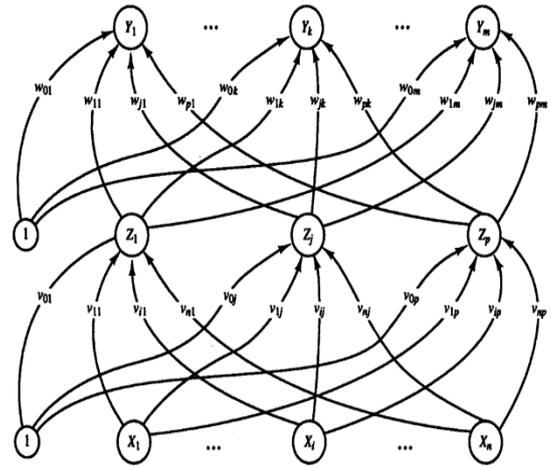
Sistem pelacak energi surya adalah sebuah sistem yang mampu untuk menggerakkan sebuah panel surya supaya dapat mengikuti pergerakan dari arah datangnya sinar matahari. Dalam rangka untuk mendapatkan arah datang sudut matahari, perlu mendefinisikan kerangka acuan yang sesuai. Adapun tiga pokok kerangka acuan yang akan digunakan diantaranya adalah garis edar semu matahari (ekliptika), garis khayal keliling bumi atau yang sering disebut dengan garis khatulistiwa dan bingkai referensi cakrawala. Kerangka acuan ini berpusat atau dirujuk ke pusat bumi dan jelas gerak matahari dianggap untuk perhitungan. Matahari dan benda langit lainnya diasumsikan berbaring di falak sebuah bola dengan jari jari besar (Abdulsalam, 2015).

Backpropagation Neural Network

Terdapat beberapa cara yang dapat dimanfaatkan sebagai kontrol dalam *solar tracker*. Salah satunya adalah metode jaringan syaraf tiruan. Metode jaringan syaraf tiruan mengimplementasikan cara kerja otak manusia kedalam sebuah metode perhitungan. Jaringan syaraf tiruan telah diimplementasikan dalam berbagai bidang, tak terkecuali pada bidang kontrol. Jaringan syaraf tiruan memiliki kapabilitas untuk mendapatkan respon secara cepat terhadap masukan pada sistem (Ratnawati, 2011).

Pada penelitian ini jenis JST yang dipakai yaitu *Backpropagation Neural Network* (BP-NN). BP-NN dapat memperoleh error yang minimal dikarenakan terdapat tahapan propagasi balik dari error yang digunakan untuk mengupdate bobot, sehingga proses perhitungan selanjutnya mendapatkan hasil yang mendekati nilai target (Suharyanto, 2017).

BP-NN melatih jaringan untuk menyeimbangkan kapabilitas jaringan untuk mengetahui pola yang digunakan selama dilatih serta kapabilitas jaringan untuk memberikan tanggapan yang sesuai terhadap pola input yang hamper sama (tapi berbeda) terhadap pola yang digunakan pada proses melatih jaringan (Siang, 2005).



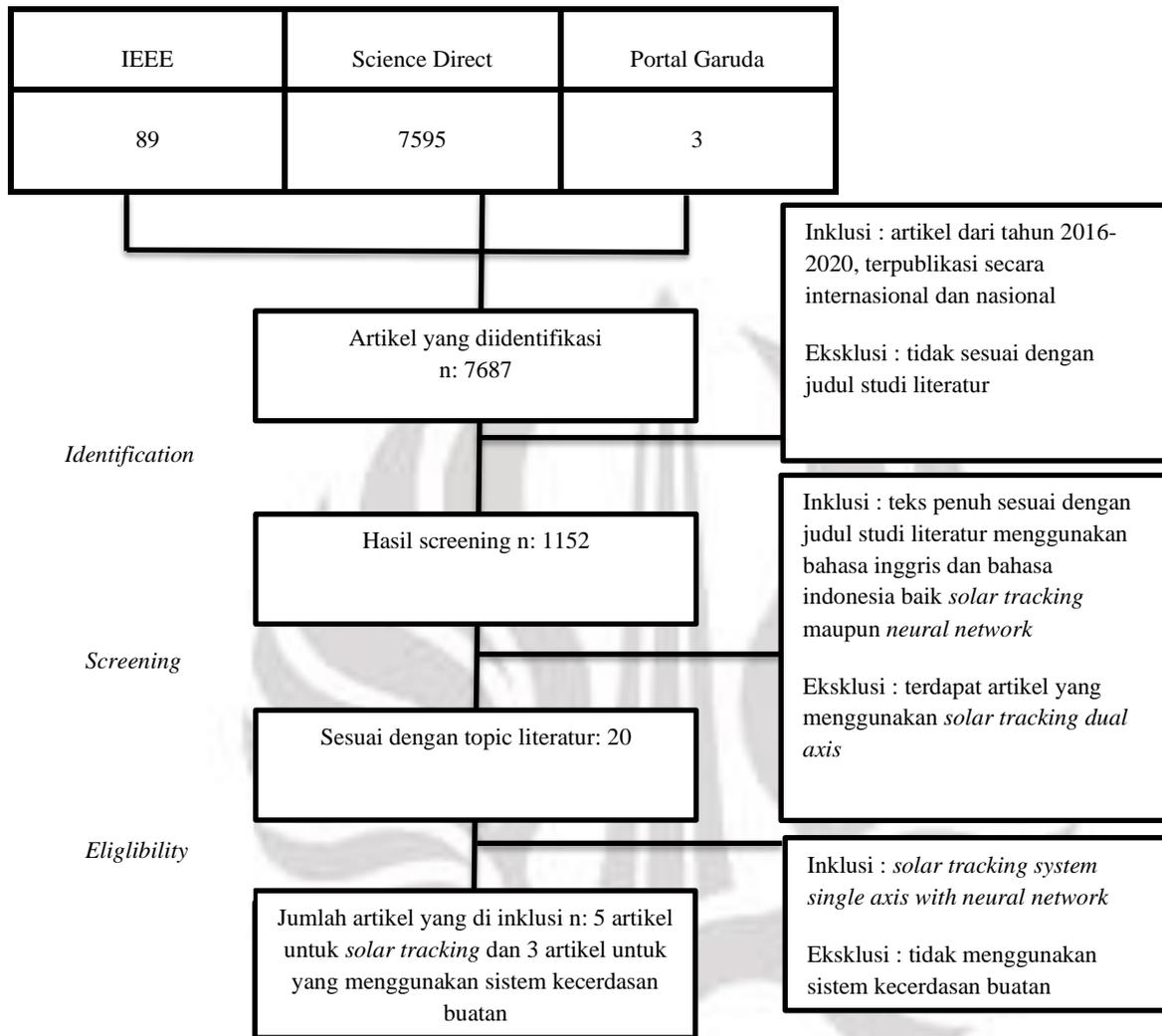
Gambar 3. Rancangan *Backpropagation*
(Sumber : Siang, 2005)

Pada Gambar 3 merupakan jaringan yang memiliki *layer* masukan x , *layer* tersembunyi z dan *layer* keluaran y , serta pemberian nilai bias yang merupakan suatu masukan dengan nilai tetap yaitu 1. v_{ji} adalah bobot jalur dari *layer* masukan x_i ke *layer* tersembunyi z_j (v_{j0} adalah bobot jalur yang menyambungkan bias di *layer* masukan ke *layer* tersembunyi z_j). w_{kj} adalah bobot dari *layer* tersembunyi z_j ke *layer* keluaran y_k (w_{k0} merupakan bobot dari bias di *layer* tersembunyi ke *layer* keluaran y_k).

PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan studi literatur untuk mengetahui lebih lanjut aplikasi jaringan syaraf tiruan pada solar tracking dan perbandingan daya yang dihasilkan dengan modul fotovoltaik statis.

Metode studi literatur ini dihasilkan dari pencarian *online* artikel penelitian ilmiah pada rentang waktu tahun 2016 hingga 2020 dengan menggunakan IEEE, *Science direct*, dan portal garuda. Pencarian literatur pada *database* IEEE dengan mengetik *solar tracking single axis* diperoleh 89 artikel, dengan pernyataan penelitian maka diperoleh 3 artikel penelitian. Pencarian literatur pada *database Science direct* dengan mengetik *solar tracking single axis* 7595 artikel, dengan pernyataan penelitian maka diperoleh 5 artikel penelitian. Sedangkan pencarian literatur pada *database* portal garuda dengan mengetik *solar tracking single axis* didapatkan 3 artikel, dengan pernyataan penelitian maka diperoleh 2 artikel penelitian.



Gambar 4. Diagram Alir Pencarian Literatur

Tabel 1. Analisis Sintesis Grid Pencarian Literatur

No	Author (tahun)	Judul penelitian	Metode penelitian	Instrumen	Hasil
1	R. G. Vieira, M.V. Guerra, B.G Vale, M.M Araujo (2016)	<i>Comparative performance analysis between static solar panels and single-axis tracking system on a hot climate region near to the equator</i>	Penelitian eksperimen dan pendekatan kuantitatif.	<i>Static solar panel dengan single axis tracking system</i>	Membandingkan daya yang dihasilkan panel surya statis dengan solar tracking sumbu tunggal. Solar tracking sumbu tunggal menghasilkan daya 11% lebih banyak dibandingkan panel surya statis
2	Prominent Munanga, Simon Chinguwa, Wilson R. Nyemba (2020)	<i>Design for manufacture and assembly of an intelligent single axis solar tracking system</i>	Penelitian eksperimen dan pendekatan kuantitatif.	<i>Solar tracking single axis menggunakan sensor LDR dengan menggunakan matriks dominasi biner</i>	<i>Solar tracking single axis</i> dengan menggunakan matriks dominasi biner mendapatkan peningkatan efisiensi sebesar 25% dibandingkan dengan panel surya statis

No	Author (tahun)	Judul penelitian	Metode penelitian	Instrumen	Hasil
3	Yongqiang Zhu, Jiahao Liu, Xiaohua Yang (2020)	<i>Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection</i>	Penelitian eksperimen dan pendekatan kuantitatif.	Solar tracking single axis dengan menggunakan persamaan matematika berdasarkan geometri matahari dan bumi	Hasil pengujian solar tracking single axis dengan berbagai variasi sumbu tunggal, NS-axis, EW-axis, V-axis, IEW-axis. Menunjukkan sumbu tunggal jenis V-axis menghasilkan daya keluaran lebih banyak
4	Junying Wong, Feifei Bai, Tapan Kumar Saha, Rodney H.G (2020)	<i>Investigation on Power Generation Valley of Single Axis Tracking Arrays at a Solar PV Plant in Australia</i>	Penelitian eksperimen dan pendekatan kuantitatif.	Panel surya statis, <i>single axis tracking</i> , dan <i>dual axis tracking</i> yang terintegrasi dengan jaringan listrik	Hasil pengujian <i>single axis tracking</i> menghasilkan daya lebih besar dari panel surya statis tetapi lebih kecil dari <i>dual axis tracking</i> , akan tetapi panel surya statis mempunyai kelebihan pada biayanya yang murah dibandingkan <i>dual axis tracking</i>
5	Marsella Ginting (2018)	Rancang bangun solar tracker dengan sensor ldr berbasis mikrokontroler atmega 8	Penelitian eksperimen dan pendekatan kuantitatif.	Solar tracker single axis dengan 4 sensor LDR serta menggunakan mikrokontroler atmega 8	Sel surya sebagai penangkap energi matahari dirangkai menjadi sistem pengendali sel surya (<i>solar tracker</i>) yang menggunakan 4 buah sensor LDR yang diletakkan pada kondisi keempat penjuru mata angin. Kepekaan paling kuat dari LDR tersebut akan diikuti oleh pergerakan solar cell hingga terdapat nilai maksimum. Dengan kondisi ini maka solar cell akan selalu mendapatkan sinar matahari secara optimal sepanjang hari.

Tabel 1 diperoleh 5 artikel penelitian menyediakan tentang respon keakuratan dari panel surya statis dan *single axis tracking* yang menggunakan sensor LDR, serta terdapat 2 artikel yang mengaplikasikan metode matriks dominasi biner dan persamaan matematika berdasarkan geometri matahari dan bumi.

Berdasarkan hasil penelitian yang membandingkan panel surya statis dengan *solar tracking* sumbu tunggal oleh R. G. Vieira (2020), bahwa *solar tracking* sumbu tunggal dapat menghasilkan daya keluaran yang lebih besar 11% dari panel surya statis. Penelitian dilakukan di kota Mossoro, Brazil. Letak geografisnya adalah 5° 11' South Latitude (S) dan 37° 20' West Longitude (W), dengan ketinggian 18 m di atas permukaan laut. Kota itu memiliki radiasi matahari rata-rata 5.23 kWh/m².

Penelitian itu mengidentifikasi untuk mengembangkan dan menganalisis dua sistem fotovoltaik (PV) yang berbeda, yang pertama dari sistem panel surya statis, dan yang kedua dengan mekanisme pelacakan matahari menggunakan strategi pelacakan azimuth mobilitas satu sumbu dari arah timur ke arah barat (Vieira, 2020).

Pada penelitian lain oleh Marsella Ginting (2018) yang membahas tentang penggunaan sensor

LDR untuk *solar tracking single axis* menjelaskan penempatan sensor LDR pada keempat penjuru mata angin, solar cell akan bergerak mengikuti pembacaan sensor LDR karena perbedaan sinar matahari yang dibaca oleh keempat sensor LDR. Data keluaran sensor LDR kemudian diolah oleh mikrokontroler ATmega 8. Aplikasi mikrokontroler Atmega 8 pada alat ini berfungsi sebagai penerjemah data *logger* pada rangkaian LDR untuk mengatur arah putaran motor servo penggerak solar tracker.

Pada *solar tracker* sistem untuk menggerakkan panel surya dapat menggunakan motor induksi, motor DC, maupun motor *stepper*. Ketika menggunakan fungsi step pada motor AC untuk hidup dan mati, banyak energi yang terbuang percuma. Motor DC adalah mesin listrik untuk mengubah arus listrik menjadi energi mekanik melalui penggunaan gaya yang dihasilkan oleh medan magnet. Hampir semua DC motor memiliki mekanisme internal untuk mengubah arah aliran arus untuk motor. Motor *stepper* menjadi rumit ketika *loop* tertutup mereka sistem kendali posisi diubah untuk memasukkan komponen terkait dengan pelacakan matahari (Munanga, 2020).

Tabel 2. Analisis Sintesis Grid Pencarian Literatur

No	Author (tahun)	Judul penelitian	Metode penelitian	Instrumen	Hasil
1	Irina A. Belova, Miroslav V. Martinovich (2016)	<i>Neural Network Control Algorithm for StandAlone Solar Cell Electrical Energy Conversion System</i>	Kuantitatif	<i>Photovoltaic module using maximum power tracking algorithm</i>	Hasil pengujian neural network pada nilai bobot dan bias mendapatkan nilai <i>mean square error</i> (MSE) 0.00201, dapat dikatan bahwa jaringan beroperasi pada akurasi yang bagus. Input data pada jaringan neural network adalah nilai temperature, tegangan, dan arus pada baterai.
2	Istiyo Winarno, Firdaus Wulandari (2017)	<i>Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode Adaptive Neurofuzzy Inference System (Anfis)</i>	Kuantitatif	Sistem tracking matahari dengan menggunakan <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i> (ANFIS)	Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengujian pada sel surya dengan menggunakan sistem <i>tracking single axis</i> berbasis kontrol ANFIS ini dapat menghasilkan daya sebesar 51% dari daya <i>output maximum</i> sel surya sebesar 20 watt DC. Sedangkan sel surya statis atau sistem tanpa kontrol ANFIS hanya mampu menghasilkan daya sebesar 29.49% dari daya <i>output maximum</i> sel surya sebesar 20 watt DC. Selisih efisiensi daya ketika menggunakan sistem <i>tracking</i> dan tanpa sistem <i>tracking</i> adalah 21.51 %.
3	R.Y. Adhitya, Sryang T. Sarena, Rachmad A. Atmoko, Dana Hartono (2016)	<i>Smart PV Solar Tracking System Menggunakan Metode BP-NN (Back Propagation Neural Network)</i>	Kuantitatif	Modul fotovoltaik statis dan solar tracker single axis dengan menggunakan BP-NN	Hasil pengujian menunjukkan tingkat efisiensi daya rata-rata smart solar tracker dengan BP-NN dibandingkan dengan modul fotovoltaik statis adalah 6.79%, parameter deviasi daya memiliki perbedaan 2.076736 W.

Tabel 2 menyajikan penelitian *solar tracker* yang menggunakan jaringan syaraf tiruan (*neural network*). Penggunaan metode BP-NN pada sistem *solar tracking* memungkinkan *solar tracking* mempunyai performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan modul fotovoltaik statis. Pada penelitian dari (R. Y. Adhitya, 2016) yang berjudul “*Smart PV Solar Tracking System Menggunakan Metode BP-NN (Back Propagation Neural Network)*”.

Pada penelitiannya, tahap pertama adalah dilakukan pengambilan data pada solar tracker. Proses pengambilan data dilakukan dengan cara mensimulasikan alat solar tracker seakan akan dalam kondisi menghadap tegak lurus terhadap matahari, lalu data pada sensor LDR dan posisi pergerakan motor diambil sebagai data *training*. Proses selanjutnya dilakukan *training* data, data masukan berupa data kondisi sensor sesuai dengan pergerakan matahari dan data kondisi aktuator sebagai target. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Jumlah iterasi (*epochs*) maksimum = 1000
2. Nilai *mean square error* (*mse*) = 0.0001
3. Metode *training* = levenberg marquardt

4. Hidden layer = 2 hidden layer (4 neuron dan 2 neuron)
5. Fungsi aktivasi = tangen sigmoid

$$X_n = \frac{X_0 - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Keterangan,

X_n = nilai data nominal

X_0 = nilai data aktual

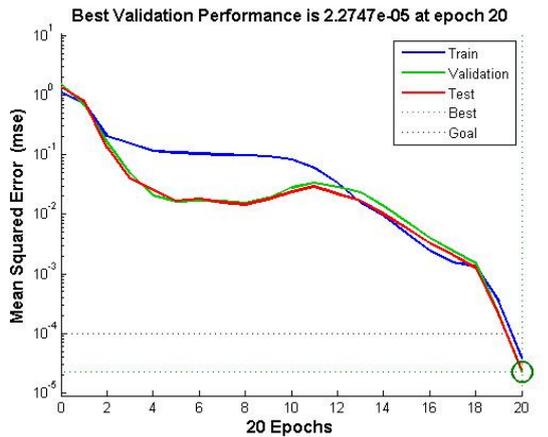
X_{min} = nilai minimum data aktual

X_{max} = nilai maksimum data aktual

Persamaan satu merupakan persamaan normalisasi data. Data yang telah dinormalisasi (X_n) merupakan hasil dari nilai data aktual (X_0) dikurangi dengan nilai minimum data aktual (X_{min}) dibagi dengan nilai maksimum data aktual (X_{max}) dikurangi dengan nilai minimum data aktual untuk mendapatkan kisaran data -1 sampai dengan 1, dimana kisaran data tersebut sesuai dengan kisaran data yang digunakan jaringan syaraf tiruan. Sebelum tahap *training* keseluruhan data dilakukan proses normalisasi terlebih dahulu

menggunakan metode *min max normalization*. (Suharyanto, 2017).

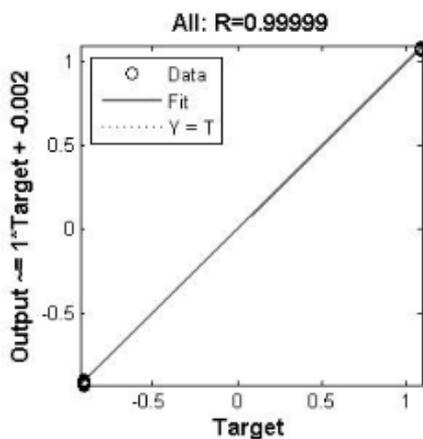
Software matlab digunakan untuk proses *training* data menunjukkan dari jumlah 1000 iterasi (epochs) yang telah ditentukan, kondisi performa yang dikehendaki diperoleh pada saat iterasi ke-20, dengan kuadrat kesalahan rata-rata 2.2747×10^{-5} , proses iterasi awal hingga kondisi yang dikehendaki diperoleh ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Best Validation Performance
(Sumber : Adhitya, 2016)

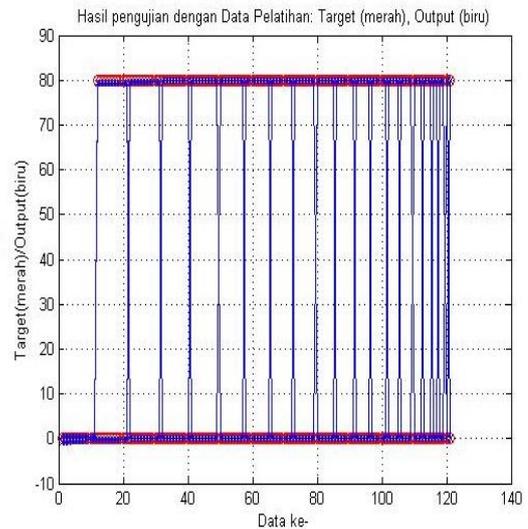
Dari gambar 5 diperoleh kesimpulan bahwa hasil pemodelan training data menggunakan metode *backpropagation neural network* berhasil. Hal ini diketahui melalui garis warna biru (*train*), warna hijau (*validation*) dan warna merah (*test*) yang jatuh diangka 10^{-5} melebihi target yang telah ditentukan yaitu 10^{-4} .

Nilai regresi yang dihasilkan semakin mendekati angka 1 dapat diartikan nilai simpangan hasil prediksi terhadap target semakin kecil. Gambar 6 menunjukkan hasil semua nilai regresi (*Training, validation, test*).



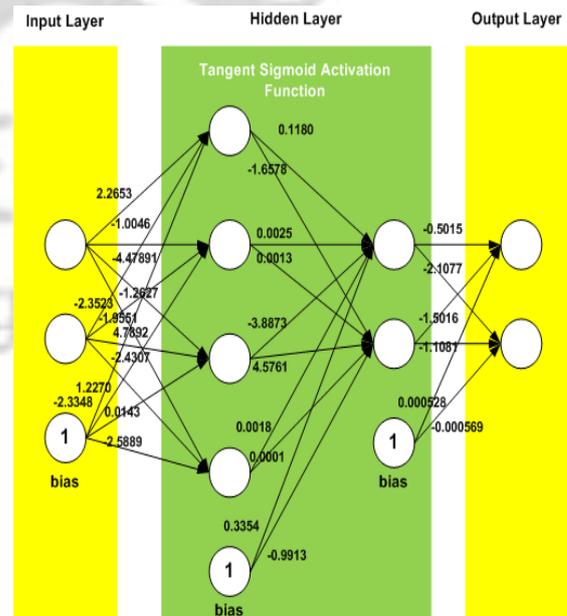
Gambar 6. Regression Plot
(Sumber : Adhitya, 2016)

Dari hasil kedua parameter kelayakan tersebut maka didapatkan grafik perbandingan antara target dan output prediksi pada gambar 7. Dapat dilihat tidak terdapat selisih yang signifikan antara kedua grafik.



Gambar 7. Target (merah) vs Output (biru)
(Sumber : Adhitya, 2016)

Tahap selanjutnya dalam perancangan *software* adalah pembuatan program mikrokontroler, bobot dari setiap *layer* pada jaringan syaraf tiruan diambil untuk selanjutnya diimplementasikan pada mikrokontroler. Gambar 8 struktur jaringan syaraf tiruan beserta nilai bobot pada masing-masing *layer* yang ditanam kedalam mikrokontroler.



Gambar 8. Struktur Jaringan Syaraf Tiruan
(Sumber : Adhitya, 2016)

Langkah berikutnya adalah pengambilan data tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Berikut merupakan tabel data yang diperoleh dari *solar tracker* dengan metode BP-NN (V_1, I_1, P_1) dan modul fotovoltaik statis (V_2, I_2, P_2).

Tabel 3 Data keluaran *solar tracker* dengan modul fotovoltaik statis

Waktu	V1	I1	P1	V2	I2	P2
07.07.54	20.8	0.33	6.864	20.43	0.01	0.2043
07.07.55	20.8	0.15	3.12	20.43	0.22	4.4946
07.07.56	20.6	0.09	1.872	20.38	0.01	0.2038
07.07.57	20.82	0.09	1.8738	20.41	0.09	1.8369
07.07.58	20.8	0.17	3.536	20.41	0.22	4.4902
07.07.59	20.77	0.04	0.8308	20.41	0.01	0.2041
07.08.00	20.77	0.44	9.138801	20.38	0.09	1.8369
07.08.01	20.77	0.01	0.2077	20.41	0.04	0.8164
07.08.02	20.82	0.09	1.8738	20.41	0.04	0.8164
07.08.03	20.8	0.15	3.12	20.38	0.07	1.4266
.....
09.10.09	19.79	0.04	0.7916	19.26	0.01	0.1926

(Sumber : Adhitya, 2016)

Jumlah keseluruhan data valid sebanyak 7045 data, lalu mencari mean dari data untuk menentukan perbedaan kapasitas daya yang dihasilkan.

Perhitungan rata-rata (mean) data untuk setiap variabel dapat dilihat *solar tracker* lebih tinggi dalam hal kapasitas daya yang dihasilkan yaitu 2,017077 Watt/s atau 7,261478 kW/h. Sedangkan modul fotovoltaik statis menghasilkan kapasitas daya rata-rata 1,888782 Watt/s atau setara 6,799616 kW/h. Dengan persentase selisih kapasitas daya rata-rata tiap jamnya adalah 6,79 %. Sehingga *solar tracker* lebih efisien 6,79% dari modul fotovoltaik statis.

Perbedaan yang cukup signifikan juga dapat diamati dari simpangan yang diperoleh dari populasi data yang ada.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_1 - X_2)^2}{n}} \quad (2)$$

Keterangan,

S = standar deviasi untuk populasi data

X_1 = data *solar tracker*

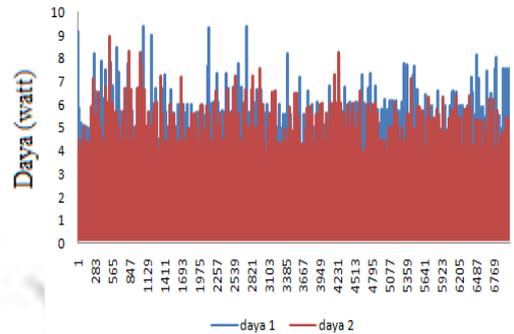
X_2 = data modul fotovoltaik statis

n = jumlah *sampling* data

Pada persamaan 2 standar deviasi (S) data didapatkan dengan akar kuadrat dari jumlah data *solar tracker* (X_1) dikurangi dengan data modul fotovoltaik statis (X_2) kuadrat dibagi dengan banyaknya data (n).

Selisih yang cukup besar ditunjukkan dengan menggunakan deviasi atau simpangan data antara *solar tracker* dan modul fotovoltaik statis adalah 0,347739

volt, 0,10356 ampere dan 2,076736 watt untuk setiap *sampling* data.



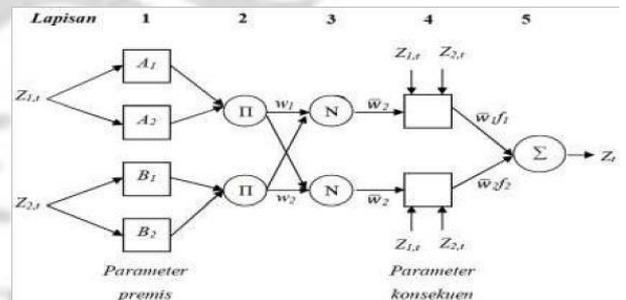
Data ke-

Gambar 9. Grafik Perbandingan P1 dan P2

(Sumber : Adhitya, 2016)

Gambar 9 merupakan grafik perbandingan antara *solar tracker* dengan metode BP-NN dan modul fotovoltaik statis. Berdasarkan grafik perbandingan P1 dan P2 dapat diamati bahwa, pola sebaran data *solar tracker* dengan metode BP-NN (*daya1*/grafik biru) lebih tinggi jika dibandingkan dengan grafik modul fotovoltaik statis (*daya2*/grafik merah).

Sedangkan penggunaan Metode *Adaptive Neurofuzzy Inference System* (Anfis) pada solar tracking system diimplementasikan oleh Istiyono Winarno (2017) yang berjudul “*Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode Adaptive Neurofuzzy Inference System (Anfis)*”



Gambar 10. Arsitektur Jaringan ANFIS

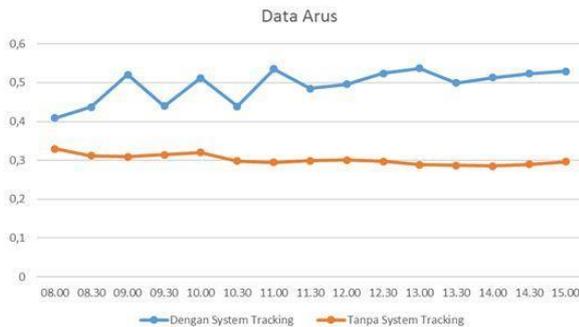
(Sumber : Winarno, 2017)

Jaringan Pada gambar terlihat bahwa arsitektur ANFIS terdiri atas 5 lapisan dan setiap lapisan mempunyai fungsi yang berbeda. Terdapat simpul disetiap lapisan yang memiliki dua bentuk yang berbeda. Simpul adaptif (bersimbol kotak) dan simpul tetap (bersimbol lingkaran).

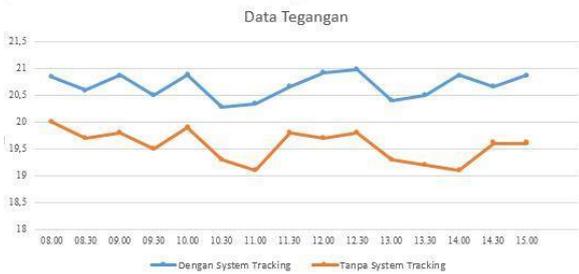
Hasil Pemrograman komputer untuk fungsi keanggotaan ANFIS adalah 5 input intensitas cahaya pada tiap sudut dan 1 input intensitas cahaya pembanding pada sel surya dengan 1 output yang berupa posisi dalam bentuk derajat. Pada gambar 5 tiap input dipecah menjadi

3 bagian dan dipetakan pada setiap bagian hal ini bertujuan untuk memprediksi nilai output yang paling tepat dengan 3 kemungkinan.

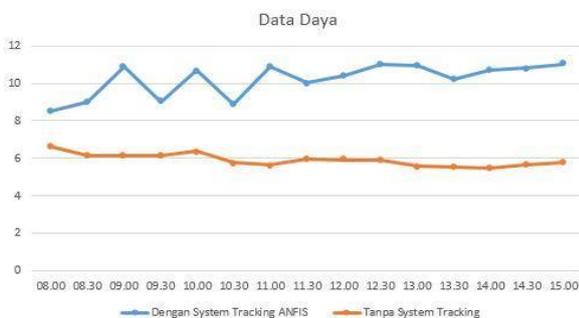
- Jika nilai $S_p = S_1/S_2/S_3/S_4/S_5 = solar tracking$ diam
- Jika nilai $S_p > S_1/S_2/S_3/S_4/S_5 = solar tracking$ diam pada titik S_p
- Jika nilai $S_p > S_1/S_2/S_3/S_4/S_5 = solar tracking$ bergerak pada salah satu titik S yang tertinggi



Gambar 11. Grafik Arus dengan sistem *tracking* dan tanpa sistem *tracking* (Sumber : Winarno, 2017)



Gambar 12. Grafik tegangan dengan sistem *tracking* dan tanpa sistem *tracking* (Sumber : Winarno, 2017)



Gambar 13. Grafik daya dengan sistem *tracking* dan tanpa sistem *tracking* (Sumber : Winarno, 2017)

Gambar 11, 12, dan 13 berturut turut menunjukkan grafik arus, tegangan, dan daya. 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.

Implementasi *Artificial Neural Network* (ANN) dapat juga dimanfaatkan sebagai kontrol pada *solar cell*. Penelitian yang berjudul "*Neural Network Control Algorithm for StandAlone Solar Cell Electrical Energy Conversion System*" oleh Irina A. Belova (2017).

Dalam beberapa dekade terakhir, bidang baru matematika terapan mengkhususkan diri dalam jaringan saraf tiruan berkembang pesat. Urgensi penelitian dibidang ini dikonfirmasi oleh banyak aplikasi jaringan saraf yang berbeda, seperti diagnosis medis dan kontrol motorik. ANN juga tersebar luas di berbagai penelitian panel surya (Belova, 2017).

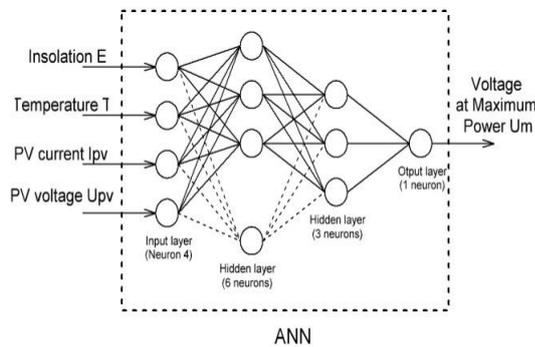


Gambar 14. *Prototype* Panel Surya (Sumber : Belova, 2016)

Gambar 14 menunjukkan *prototype* dari panel surya. Jenis panel surya yang digunakan adalah polycrystalline dan menggunakan sebuah lampu halogen yang berfungsi seperti matahari. Lampu halogen dapat mensimulasikan level cahaya yang setara 380 W/m².

Arsitektur dari ANN memiliki 4 *layer* masukan. Diantaranya adalah *Insolation, Temperature, PV Current, PV Voltage*. Kemudian terdapat 2 lapis *hidden layer* masing-masing memiliki 3 *neuron*. *Output* nya yaitu

tegangan pada daya maksimal. Gambar 15 menunjukkan arsitektur dari ANN.



Gambar 15. Arsitektur ANN
(Sumber : Belova, 2016)

Tabel 4 Hasil Percobaan ANN

E, W/m ²	T, °C	I _{pv} , A	U _{pv} , V	Trained U _{max} , V	Expected U _{max} , V	Error %
380	35.4	0.123	12.69	16.02	16.071	0.3
160	15.787	15.79	16.06	15.79	15.787	0.01
110	51	0.027	13.43	13.25	13.274	0.18

(Sumber : Belova, 2016)

Implementasi ANN pada penelitian ini dapat secara akurat menentukan tegangan pada sel surya yang dapat menghasilkan daya maksimum. Presentase error hanya berkisar antara 0.01% hingga 0.5%.

SIMPULAN

Backpropagation neural network telah berhasil diterapkan sebagai kontrol pergerakan *solar tracker* untuk mengoptimasi sinar UV yang diterima oleh modul fotovoltaik, dengan meningkatnya daya yang dihasilkan dan memperoleh tingkat efisiensi kapasitas daya rata-rata yang dihasilkan 6,79 % lebih optimal jika dibandingkan dengan modul fotovoltaik statis.

SARAN

Agar dapat mencapai hasil yang lebih maksimal, maka disarankan beberapa hal berikut:
Menggunakan jenis sensor yang lebih peka terhadap cahaya matahari supaya mendapatkan hasil yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulsalam, Alrowashed. 2015. "Radiation Modelling and Performance Evaluations of Fixed, Single and Double Axis Tracking Surfaces : A Case Study for Dhahran City, Saudi Arabia". International Journal of Sustainable Energy Vol. 36 Hal. 61-77
- Adhitya, R. Y. 2016. "Smart PV Solar Tracking System Menggunakan Metode BP-NN (Back Propagation Neural Network)". Seminar Nasional Maritim, Sains, dan Teknologi Terapan 2016 Vol. 01 Hal. 1-5
- Belova I. A, Miroslav V. Martinovich. 2016. "Neural Network Control Algorithm for StandAlone Solar Cell Electrical Energy Conversion System". 16th International Conference On Micro/Nanotechnologies And Electron Devices EDM.
- Ginting, Marsella. 2018. "Rancang bangun solar tracker dengan sensor ldr berbasis mikrokontroler atmega 8". Repositori Institusi USU.
- Hafezh, A. Z. 2018. "Solar Tracking Systems: Technologies and Trackers Drive Types A Review". Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 91 Hal. 754-782
- Junying Wong, Feifei Bai, Tapan Kumar Saha, Rodney H.G. 2020. "Investigation on Power Generation Valley of Single Axis Tracking Arrays at a Solar PV Plant in Australia". IEEE Power & Energy Society General Meeting Hal. 1-5
- Prabowo, Denny. 2020. "Sistem Pelacakan Matahari Sumbu Ganda Pada Modul Fotovoltaik Berbasis Sensor Ultraviolet". Jurnal Teknik Elektro Vol. 9 Hal. 213-221
- Prominent Munanga, Simon Chinguwa, Wilson R. Nyemba. 2020. "Design for manufacture and assembly of an intelligent single axis solar tracking system". CIRP BioManufacturing Conference Vol. 91 Hal. 571-576
- Ratnawati, Dwi Ana. 2011. "Sistem Kendali Cerdas". Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ray, Shaswati. 2016. "Design and Dvelopment of Tilted Single Axis and Azimuth Altitude Dual Axis Solar Tracking System". 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES) Vol. 1 Hal. 1-6
- Shokouhimehr, Mohammadreza. 2020. "Grid-Connected Photovoltaic Systems with Single Axis Sun Tracker: Case Study for Central Vietnam". Energies Vol. 13 Hal. 1-14

- Siang, J. J. 2005. *"Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab"*. Yogyakarta : Andi.
- Suharyanto. 2017. *"The Comparison of ANN-BP and ANN-PSO as Learning Algorithm to Track MPP in PV System"*. 7th International Annual Engineering Seminar (InAES) Vol. 1 Hal 1-6
- Vieira, R. G. M.V. Guerra, B.G Vale, M.M Araujo 2016. *"Comparative Performance Analysis Between Static Solar Panels and Single-Axis Tracking System on a Hot Climate Region Near To The Equator"*. Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol 64 Hal. 672-681
- Winarno Istiyo, Firdaus Wulandari. 2017. *"Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode Adaptive Neurofuzzy Inference System (Anfis)"*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Hal. 1-10
- Yandri, Valdi Rizqi. 2012. *"Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia"*. Jurnal Ilmu Fisika (JIF) Vol 4 Hal 14-19
- Yongqiang Zhu, Jiahao Liu, Xiaohua Yang. 2020. *"Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection"*. Applied Energy Vol. 264 Hal. 1-7

