

SISTEM TRACKING PANEL SURYA UNTUK PENGOPTIMALAN DAYA MENGGUNAKAN METODE KONTROL SELF-TUNING PID DENGAN JST JENIS PERCEPTRON

Achmad Ulul Azmy^{*)}, Sumardi^{**)}, and Munawar Agus Riyadi^{***)}

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

^{*)}E-mail: achmadululazmy@gmail.com, ^{**)}E-mail: sumardi.undip@gmail.com, ^{***)}E-mail: munawar@undip.ac.id

Abstrak

Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan. Matahari dapat memancarkan energi sebesar $3,86 \times 10^{26}$ joule setiap detiknya. Sayangnya, energi matahari masih belum dimanfaatkan secara masal. Hal ini disebabkan karena harga panel surya yang masih terbilang cukup mahal dan efisiensinya yang masih rendah. Selain itu, kurangnya pemanfaatan energi matahari juga dikarenakan ketersediaan sumber energi lain yang masih melimpah dan menghasilkan jumlah energi yang lebih banyak. Dalam rangka mengoptimalkan penggunaan sebuah panel surya, salah satu caranya adalah dengan menambahkan sebuah sistem pengendali yang dapat mengatur posisi panel surya secara otomatis agar selalu mendapatkan nilai daya yang optimal dengan menggunakan metode kontrol self-tuning PID dengan jaringan syaraf tiruan model perceptron yang dilatih secara offline dan ditanamkan di dalam Mikrokontroler ATMega 8535. Sel surya tanpa sistem kendali mampu menghasilkan tegangan sebesar 15,66 V, arus listrik sebesar 0,49 A, daya sebesar 7,479 W, dan energi listrik sebesar 2581,0806 Watt menit atau 32.6453 Wh. Sedangkan sistem dengan kendali menghasilkan tegangan sebesar 15,98 V, arus listrik sebesar 0,57 A, daya sebesar 8,98 W dan energi yang dihasilkan sebesar 2709.6527 Watt menit atau 45.1609 Wh, sehingga sistem mempunyai kenaikan energi sebesar 4,981%. Hasil dari sistem ini adalah panel surya dapat mengikuti posisi matahari sehingga mendapatkan nilai tegangan, arus dan daya yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya yang statis.

Kata kunci: Panel Surya, Tracking, self-tuning PID, Jaringan Syaraf Tiruan, Perceptron, ATMega 8535

Abstract

Solar energy is one of alternative renewable energy. Sun can emitting energy approximately $3,86 \times 10^{26}$ joule every second. Unhappily, solar energy wasn't utilize a mass. It's caused by solar cell's price are still relative expensive and its efficiency still low. Besides, insufficiently harnessed of solar energy also caused of other energy source accessibility that stills abundant and resulting total more energy a lot of. In order to optimize purpose a solar cell, one of the ways it is by add a control system that can manage solar pane position automatically that always get optimal energy point by use of self-tuning PID with perceptron neural network that imbedded in Microcontroller ATMega 8535. The solar cell without control system can result voltage as big as 15,66V, electric current 0,49A, electricity power 7,479W, and electricity energy 2709.6527 Watt Minutes or 154,8648 KWh. Meanwhile system that using controller result voltage as big as 15,98V, electric current 0,57A, electricity power 8,98W and electricity energy 2709.6527 Watt Minutes or 162,579 Kwh, so the system efficiency was increased by 4,981%. Result of this system is solar pane can track the sun position so is gotten point good voltage, current and also superordinate energy is compared with static solar pane.

Keywords: Solar Cell, Tracking, self-tuning PID, Artificial Neural Network, Perceptron, ATMega 8535

1. Pendahuluan

Konsumsi energi di dunia belakangan ini semakin meningkat. Terutama energi fosil yang tidak dapat diperbarui lagi, jumlahnya yang terbatas dan semakin berkurang. Menurut Chris Lewis dalam bukunya yang berjudul Biological Fuels, memperkirakan bahwa gas alam akan habis pada tahun 2047, minyak bumi akan

habis pada tahun 2080 dan batu bara akan habis pada tahun 2180 akibat dari eksplorasi dan eksploitasi dalam skala besar yang tidak sebanding dengan pembentukan kembali energi fosil tersebut^[1].

Energi matahari menjadi salah satu sumber energi alternatif karena energi matahari dikatakan sebagai salah satu sumber energi yang tak terbatas. Matahari dapat

memancarkan energi sebesar 3,86 x 10²⁶ joule setiap detik. Walaupun energi tersebut tidak diterima seluruhnya oleh bumi, yaitu hanya sekitar 1kW/m², energi matahari masih mampu untuk mencukupi 10000 kali kebutuhan energi di bumi jika energi matahari mampu dimanfaatkan di seluruh permukaan bumi. Artinya, menutup 0,1 persen permukaan bumi dengan solar cell yang mempunyai efisiensi 10 persen, dapat mencukupi kebutuhan energi dunia saat ini^[2].

Solar Tracking System didesain untuk mengoptimalkan sistem kerja dari panel surya^[3]. Pemanfaatan radiasi matahari dapat dimaksimalkan menggunakan sistem mekanik untuk orientasi modul PV (Photovoltaik) sesuai dengan alur matahari. Pada dasarnya sistem tracking panel surya adalah sistem mekatronik yang mengintegrasikan peralatan mekanik, elektronik dan teknologi informasi. Mekanisme ini digerakan oleh putaran motor atau aktuator linear, yang mengontrol sistem tersebut untuk memastikan posisi optimal arah PV yang relatif terhadap posisi matahari di langit^[4].

Arus yang terukur pada keluaran sel surya dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$I = I_0 \cos \theta \tag{1}$$

Dimana I_0 adalah arus pada pencahayaan matahari pada posisi normal (menghadap cahaya matahari), dan θ adalah sudut antara garis matahari yang terukur dengan garis normal sel surya.

Dalam aturan kosinus, sudut aktual untuk mendapatkan tenaga yang optimal adalah berada diantara 0° sampai dengan 50°^[5].

Tabel 1. Nilai Kelley Cosine pada photocurrent dalam sel silikon^[5]

Sudut matahari (°)	Nilai Kosinus Matematis	Nilai Kosinus Kelley
30	0,866	0,866
50	0,643	0,635
60	0,500	0,450
80	0,174	0,100
85	0,087	0

Menurut nilai kosinus Kelley, pada sudut di atas 50°, energi listrik yang dihasilkan mengalami penurunan secara drastis. Dan sel PV tidak menghasilkan daya mulai sudut 85°. Walaupun pada nilai kosinus matematis diprediksi dapat menghasilkan daya sebesar 8,7% dari daya maksimumnya. Kurva power-angle yang aktual pada sel PV disebut dengan Kosinus Kelley (Kelly Cosine) seperti yang ditunjukkan pada tabel 1^[5].

Maka berdasarkan latar belakang yang telah diungkapkan diatas, pada penelitian ini penulis merancang sebuah sistem pelacakan fotovoltaik (PV) dengan dua derajat kebebasan (DOF) yang menggunakan kontroler PID

dengan tuning menggunakan JST model Preceptron yang tertanam pada mikrokontroler ATmega 8535. Sehingga diharapkan sistem ini dapat mengikuti pergerakan matahari dan dapat menghasilkan nilai energi yang lebih optimal.

2. Metode

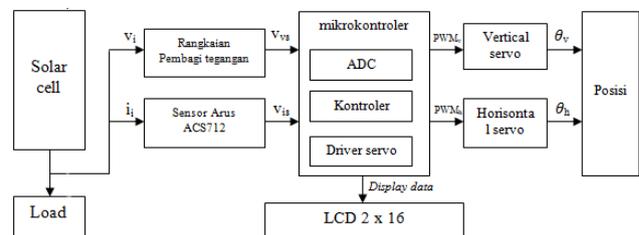
Sistem Tracking ini menggunakan algoritma pengendalian P&O dan control self-tuning PID dengan JST Perceptron yang tertanam pada mikrokontroler ATmega 8535. Input pengontrolan berasal dari hasil pembacaan tegangan dan arus dari solar cell kemudian diolah menggunakan mikrokontroler dan hasil pengolahan berupa sinyal control akan mengatur posisi motor servo (gambar 1).

2.1. Algoritma P&O

P&O merupakan algoritma yang biasa digunakan untuk MPPT solar cell. Pada sistem ini juga menggunakan algoritma P&O (gambar2).

θ merupakan sudut motor servo yang memiliki nilai antara -90° sampai 90°. Nilai θ inilah yang akan mengarahkan solar cell untuk mendapatkan intensitas cahaya yang maksimum, sehingga akan memperoleh daya maksimum.

Gambar 2 merupakan diagram alir tanpa menggunakan kontroler. Sistem tersebut akan terus bergerak jika masih terdapat error yang diperoleh dari perubahan daya yang diperoleh sistem. Gerak sistemnya pun masih tergantung pada besar nilai perubahan sudut atau $\Delta\theta$. Semakin besar $\Delta\theta$, maka respon sistem akan cepat, namun gerakannya sangat kasar dan sebaliknya semakin kecil nilai $\Delta\theta$, respon sistem menjadi sangat lambat, tetapi gerakannya halus. Untuk itu, algoritma ini perlu ditambahkan kontrol PID untuk mendapatkan respon transien yang cukup cepat, dengan gerakan yang lebih halus.



Gambar 1. Blok diagram sistem tracking panel surya

2.2. Jaringan Syaraf Tiruan Model Perceptron untuk Tuning PID

P&O merupakan algoritma yang biasa digunakan untuk MPPT solar cell. Pada sistem ini juga menggunakan algoritma P&O (gambar2).

Jaringan syaraf tiruan pada sistem ini hanya digunakan sebagai tuning parameter PID saja. Dan parameter-parameter PID tersebut, diperoleh dari percobaan try-error. Penentuan parameter PID tersebut berdasarkan keadaan error dan delta error dan terdapat 3 variasi parameter. Untuk pemetaan parameter PID ditentukan dengan membagi nilai error dan nilai delta error.

TABEL2. Plot Parameter PID

Delta error Error	0 - 0,199 (X4)	0,2 - 3,99 (X5)	≥4 (X6)
0 - 0,199 (X1)	T1	T1	T1
0,2 - 3,99 (X2)	T2	T2	T3
≥4 (X3)	T2	T3	T3

Dimana pada target T1 memiliki parameter PID yang bernilai $K_P = 20$, $K_I = 2$ dan $K_D = 0,1$. Target T2 memiliki parameter PID yang bernilai $K_P = 5$, $K_I = 2$ dan $K_D = 0,15$. Dan target T3 memiliki parameter PID yang bernilai $K_P = 3$, $K_I = 2$ dan $K_D = 0,2$. Penentuan target tersebut ditentukan agar saat error terlalu kecil, parameter akan berubah agar sistem masih mampu melakukan tracking untuk mencari daya terbesar. Dan ketika saat sistem menghasilkan sinyal kontrol yang besar, parameter akan berubah agar sistem tidak menghasilkan perubahan sudut yang besar sehingga sistem tetap stabil.

Jaringan syaraf tiruan ini dapat digunakan sebagai pengenalan pola dengan tiga target. dengan menggunakan pembelajaran secara offline diperoleh parameter pembobotan sebagai berikut:
 $w_{11}=3$; $w_{12}=-1$; $w_{13}=-1$; $w_{14}=-1$; $w_{15}=1$; $w_{16}=1$;
 $b_1=-1$;
 $w_{21}=-2$; $w_{22}=4$; $w_{23}=0$; $w_{24}=4$; $w_{25}=0$; $w_{26}=-2$;
 $b_2=-2$;
 $w_{31}=-2$; $w_{32}=0$; $w_{33}=4$; $w_{34}=-2$; $w_{35}=0$; $w_{36}=4$;
 $b_3=-2$;

Dengan memasukkan bobot diatas, maka target akan mengikuti nilai pola masukan.

Sehingga model jaringan syaraf tiruan menjadi seperti pada gambar 3.

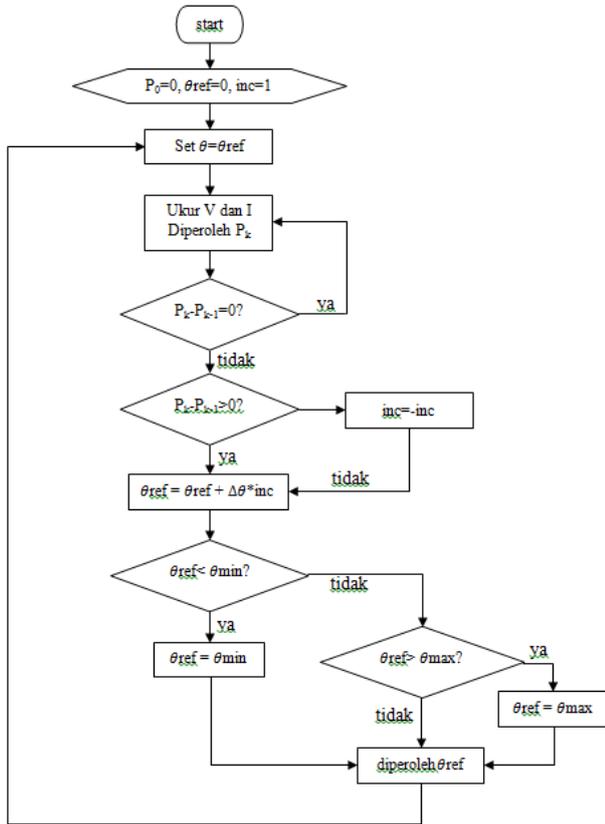
2.3. Kontrol PID

Pada sistem ini, kontrol PID yang digunakan adalah PID digital. Dalam merealisasikan PID digital, maka diperlukan time sampling (T_s). Dalam pemrograman time sampling yang digunakan adalah 0.1 detik.

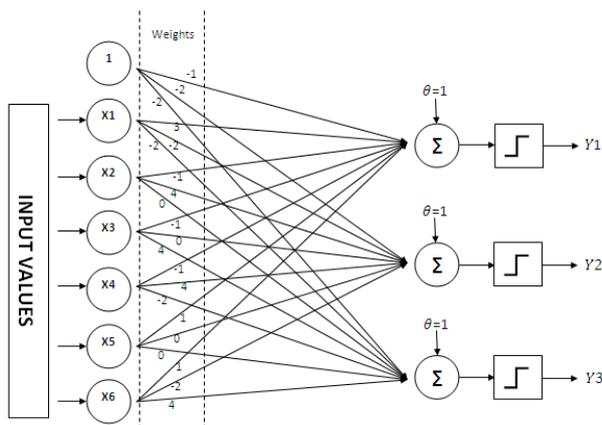
Kontrol proporsional dalam kawasan diskret dapat diimplementasikan dengan persamaan:

$$u_p(k) = K_p e(k) \tag{2}$$

K_p adalah parameter dari hasil tuning menggunakan JST. Sedangkan $e(k)$ merupakan error pada sampling saat ini yang diperoleh dari perbedaan daya sampling sebelumnya dengan sampling sekarang.



Gambar 2 Diagram alir sistem P&O



Gambar 3 Jaringan syaraf tiruan – Perceptron

Pada kawasan kontinu, integral dinyatakan dengan notasi $\int dt$, namun jika diimplementasikan pada kawasan diskret, maka akan menggunakan operasi matematis (\sum). Kontrol integral dalam kawasan diskret dapat diimplementasikan dengan persamaan:

$$u_i(k) = K_i \sum_{i=0}^k e(i) T_s \quad (3)$$

$$u_i(k) = K_i T_s \sum_{i=0}^k e(i) = K_i T_s [e(0) + e(1) + \dots + e(k-1) + e(k)] \quad (4)$$

$$u_i(k) = K_i T_s [e_i(k-1) + e(k)] \quad (5)$$

K_i merupakan parameter kontrol integral yang berasal dari tuning menggunakan JST. e_i merupakan error integral, yaitu hasil penjumlahan dari semua error pada sampling sebelumnya. Dan T_s merupakan nilai dari time sampling atau waktu cuplik.

Pada kawasan diskret kontrol derivative merupakan kontrol yang menggunakan selisih antara error sekarang dengan error sebelumnya.

$$u_d(k) = K_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_s} \quad (6)$$

Untuk menggabungkan ketiga kontrol diatas untuk menjadi kontrol PID hanya perlu menjumlahkan ketiganya. Karena persamaan-persamaan diatas merupakan persamaan PID bentuk independent. Sehingga kontrol PID yang digunakan

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k) \quad (7)$$

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{i=0}^k e(i) T_s + K_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_s} \quad (8)$$

3. Hasil dan Analisis

Untuk mengetahui hasil kerja sistem tanpa kontroler dengan sistem yang menggunakan kontroler, maka pada subbab ini dijelaskan perbandingan antara hasil kerja pada sistem tanpa kontroler dengan sistem menggunakan kontroler.

Hal ini ditujukan untuk mengetahui apakah sistem dengan kendali Self-tuning PID dengan JST model perceptron meningkatkan hasil kinerja dari sebuah solar cell yang statis atau tanpa menggunakan kontroler atau tidak.

3.1. Sistem Tanpa Kendali

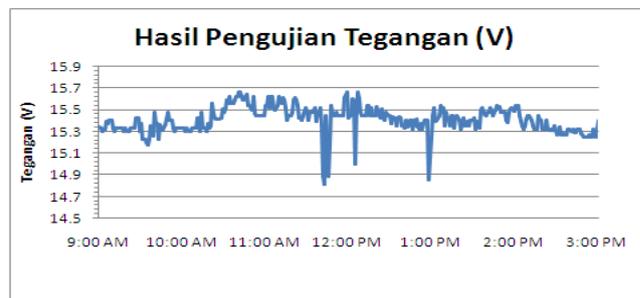
Pengujian sistem kendali tanpa kontroler dilakukan tanpa menggunakan kontroler atau statis menghadap suatu arah tertentu, dalam percobaan ini penulis mengarahkan solar cell tegak lurus kearah atas.

Berikut adalah grafik hasil pengujian sistem tanpa kontroler yang dilakukan mulai pukul 09.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB pada bulan Agustus 2014 di Semarang, Indonesia dan dengan waktu cuplik (sampling) setiap satu menit sekali.

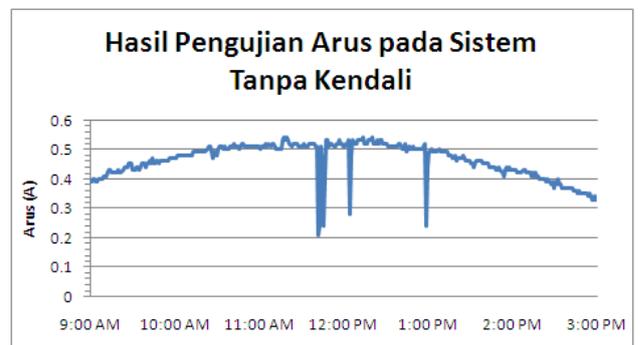
Sistem tanpa kendali mempunyai tegangan puncak sebesar 15,66V. Sedangkan tegangan terkecil yang dihasilkan sistem mempunyai nilai tegangan sebesar 14,81V (gambar 4).

Tegangan terkecil muncul pada siang hari akibat adanya awan mendung yang mengurangi intensitas cahaya.

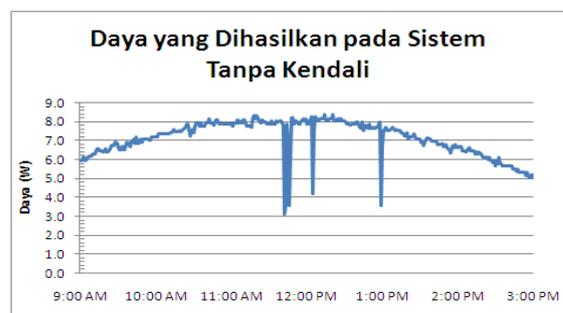
Sistem menghasilkan arus terbesar yang bernilai 0,49A. Sedang nilai terkecil yang dihasilkan sistem adalah sebesar 0,17A. Nilai terkecil muncul pada siang hari akibat dari kondisi cahaya matahari yang sedang tertutup awan atau mendung.



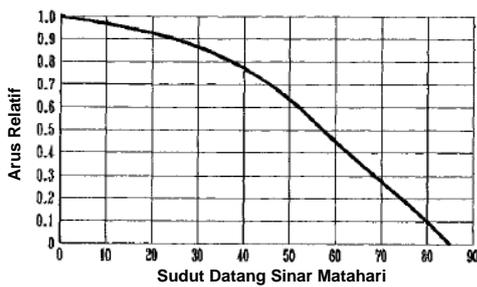
Gambar 4 Grafik data tegangan pada pengujian sistem tanpa kendali



Gambar 5 Grafik data arus pada pengujian sistem tanpa kendali



Gambar 6 Grafik data daya pada pengujian sistem tanpa kendali



Gambar 7 Kurva arus relatif terhadap sudut datang matahari^[6]

Grafik daya pada gambar 6 merupakan hasil dari perkalian antara tegangan yang dihasilkan solar cell dengan arus yang dihasilkan solar cell. Sehingga daya juga memiliki trendline yang sama dengan tegangan maupun arus yang dihasilkan oleh sel surya. Grafik ini mempunyai trendline seperti gunung. Hal ini disebabkan karena pada pagi dan sore hari intensitas cahayanya masih sedikit dan juga posisi matahari mempunyai sudut yang besar terhadap posisi garis normal solar cell. Hal ini sudah sesuai dengan aturan kosinus Kelley seperti pada grafik pada gambar 7.

Daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh solar cell adalah sebesar 7,479W. Sedangkan untuk daya terkecilnya adalah sebesar 2,42W yang diakibatkan karena pengaruh nilai arus yang turun.

Energi yang dihasilkan oleh solar cell dapat dihitung dengan menjumlahkan semua data yang diperoleh tiap menitnya, sehingga energi yang dihasilkan pada saat pengambilan data adalah sebesar 1958.7205 Watt menit atau 32.6453 Wh.

3.2 Pengujian Sistem Menggunakan Kendali PID Tuning JST Model Perceptron dengan 2 DOF (Degree Of Freedom)

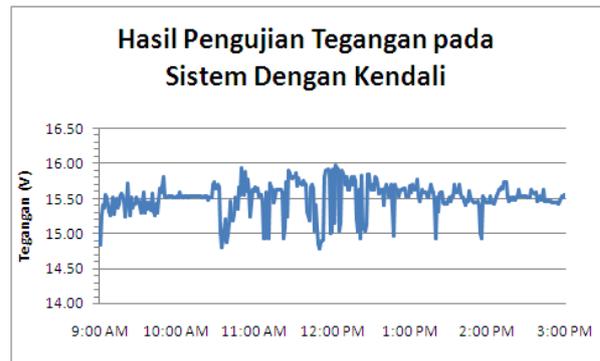
Pengujian sistem dengan kendali dilakukan dengan cara mengatur arah sel surya untuk mendapatkan nilai daya tertinggi secara otomatis dengan menggunakan kendali PID dengan tuning JST model perceptron dengan memberikan dua derajat kebebasan untuk mengatur arah sel surya kearah yang memiliki nilai daya tertinggi.

Sama seperti pengujian pada sistem tanpa kendali, pengujian sistem dengan kendali juga dilakukan mulai pukul 09.00 WIB hingga pukul 15.00 pada bulan Agustus di Semarang, Indonesia dengan waktu cuplik satu menit.

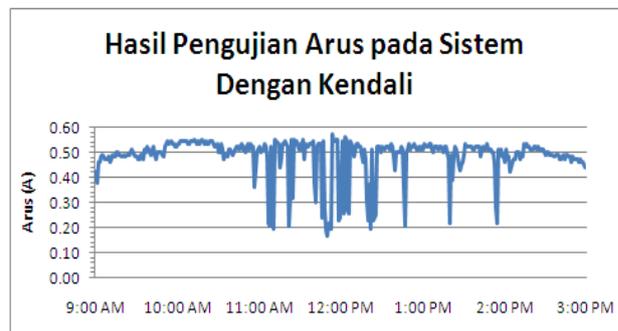
Pada gambar 8, grafik tegangan sistem dengan kendali memiliki trendline yang hampir sama trendline grafik tegangan pada sistem tanpa kendali. Namun pada sistem dengan kendali memiliki trendline yang lebih landai. Tegangan maksimal yang dapat dihasilkan oleh sistem dengan kendali adalah sebesar 15,98V. Sedangkan

nilai terkecil yang dihasilkan oleh sistem dengan kendali adalah sebesar 14,79V.

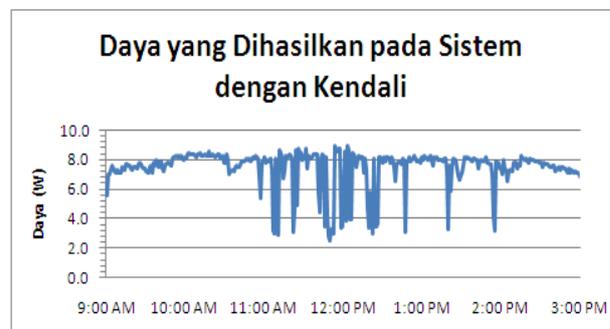
Grafik data arus sistem dengan kendali pada gambar 9 memiliki karakteristik yang sama dengan grafik data arus sistem tanpa kendali, yaitu identik dengan grafik tegangannya. Namun memiliki perubahan nilai yang terlihat lebih responsif. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan arus yang sangat kecil.



Gambar 8 Grafik data tegangan pada pengujian sistem dengan kendali



Gambar 9 Grafik data arus pada pengujian sistem dengan kendali



Gambar 10 Grafik data daya pada pengujian sistem dengan kendali

Nilai arus terbesar yang dapat dihasilkan adalah 0,57A. Dan nilai arus terkecil yang dihasilkan sistem dengan kendali adalah 0,17A. Nilai terkecil muncul

diakibatkan karena faktor keadaan cahaya matahari yang terhalang oleh awan atau mendung.

Pada gambar 10, dapat ditinjau bahwa daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh solar cell adalah sebesar 8.98W. Sedangkan untuk daya terkecilnya adalah sebesar 2.55W yang disebabkan karena pengaruh arus yang turun secara signifikan akibat menurunnya intensitas cahaya karena awan mendung.

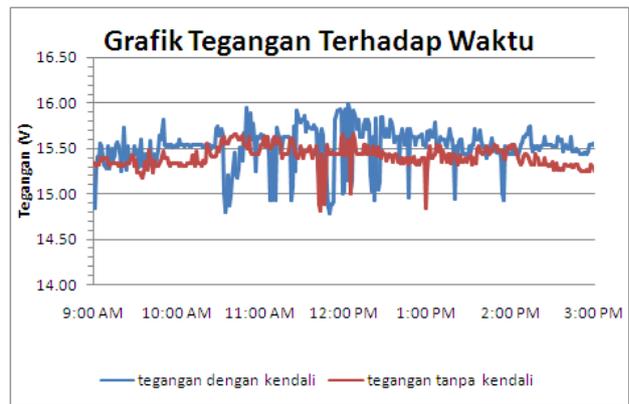
Energi yang dihasilkan oleh solar cell dapat dihitung dengan menjumlahkan semua data yang diperoleh tiap menitnya, sehingga energi yang dihasilkan pada saat pengambilan data adalah sebesar 2709.6527 Watt menit atau 45.1609Wh.

3.3. Perbandingan Kinerja Sistem Tanpa Kendali dengan Sistem Menggunakan Kendali PID Tuning JST Model Perceptron dengan 2 DOF (Degree Of Freedom)

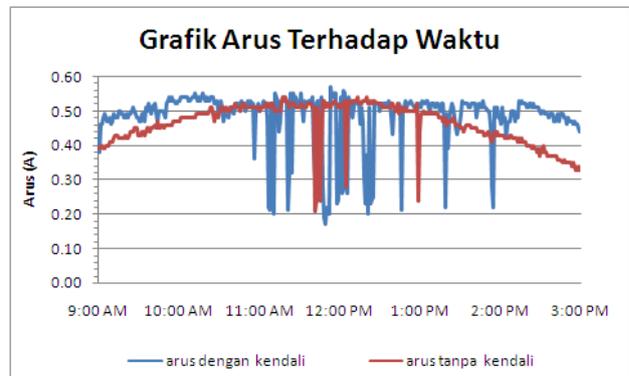
Pada grafik perbandingan nilai tegangan, sistem dengan kendali cenderung memiliki nilai tegangan yang lebih besar daripada nilai tegangan pada sistem tanpa kendali. Pada sistem dengan kendali, menghasilkan nilai tegangan maksimum sebesar 15,98 Volt. Nilai tegangan tersebut memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai tegangan yang dihasilkan pada sistem tanpa kendali, yakni sebesar 15.66 Volt.

Seperti halnya pada grafik perbandingan hasil pengujian tegangan, hasil pengujian sistem dengan kendali juga menghasilkan nilai yang lebih tinggi pada arus yang dihasilkan dibandingkan dengan sistem tanpa kendali. Sistem dengan kendali juga menghasilkan nilai arus maksimal yang lebih tinggi dibandingkan dengan arus maksimal yang dihasilkan oleh sistem tanpa kendali, namun nilai kenaikannya tidak terlalu signifikan. Sistem dengan kendali menghasilkan nilai arus maksimal sebesar 0,5A, sedang sistem tanpa kendali menghasilkan arus maksimal sebesar 0,54A.

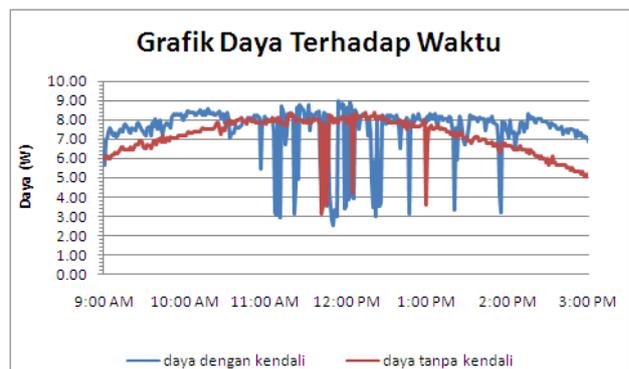
Pada gambar 13, saat pagihari dan sore hari, perbandingan nilai arus antara sistem tanpa kendali dan sistem dengan kendali mempunyai nilai perbandingan yang semakin besar. Sedangkan pada perbandingan nilai tegangan, nilai perbandingan tegangan antara sistem tanpa kendali dan sistem dengan kendali mempunyai nilai perbandingan yang tidak terlalu besar pada pagi dan sore hari. Hal ini disebabkan karena pengaruh suhu sesuai dengan grafik perbandingan arus, tegangan dan suhu pada gambar 14 dimana sel surya mempunyai karakteristik jika suhu bertambah maka nilai arus akan meningkat sedangkan tegangannya akan menurun.



Gambar 11 Grafik perbandingan nilai tegangan pada sistem tanpa kendali dan sistem dengan kendali



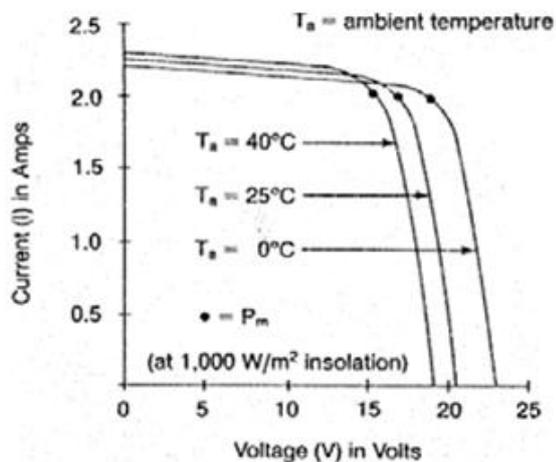
Gambar 12 Grafik perbandingan nilai arus pada sistem tanpa kendali dan sistem dengan kendali



Gambar 13 Grafik perbandingan nilai daya pada sistem tanpa kendali dan sistem dengan kendali

Daya yang dihasilkan merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus yang dihasilkan oleh solar cell, sehingga karakteristiknya pun mengikuti karakteristik dari gabungan arus dan tegangan. Karena arus dan tegangan pada sistem dengan kendali mempunyai nilai yang cenderung lebih besar dari nilai pada sistem tanpa kendali, tentu nilai daya yang dihasilkan pada sistem dengan kendali juga memiliki nilai yang cenderung lebih

besar dibandingkan dengan sistem tanpa kendali. Hal ini dibuktikan pada gambar 13.



Gambar 14 Perbandingan antara arus, tegangan dan suhu pada panel surya

Nilai daya terbesar yang dihasilkan oleh sistem dengan kendali yaitu sebesar 8,98W. Sedangkan daya maksimal sistem tanpa kendali bernilai 8,39W. Nilai daya terbesar yang dihasilkan berbeda dapat disebabkan karena pada sistem dengan kendali selalu dikontrol sehingga solar cell dapat mencari intensitas cahaya tertinggi supaya menghasilkan nilai daya tertinggi. Sedangkan sistem tanpa kendali ketika terdapat intensitas cahaya tertinggi, solar cell tidak tepat menghadap matahari atau sebaliknya.

Karena daya yang dihasilkan pada sistem dengan kendali mempunyai nilai yang cenderung lebih besar, maka energi yang dihasilkan pun akan mempunyai nilai yang lebih besar, yaitu sebesar 45.1609 Wh dan sistem tanpa kendali menghasilkan energi sebesar 32.6453 Wh.

Sehingga dapat dikatakan, jika ditinjau dari perolehan nilai tegangan, arus dan daya yang dihasilkan, sistem dengan kendali mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem tanpa kendali dengan kenaikan energi sebesar 4,981%.

4. Kesimpulan

Sistem (prototipe) telah mampu untuk melakukan *tracking* matahari. Perbandingan respon unjuk kerja panel surya dipengaruhi faktor-faktor diantaranya suhu solar cell, radiasi matahari, dan orientasi untuk mendapatkan nilai yang maksimum. Sistem dengan *tracking* mempunyai hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem statis. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan perbaikan pada rangkaian mekanis, maupun aktuator sehingga mampu untuk bekerja lebih optimal, dan juga dilakukan pengujian dengan kondisi berbeda seperti model ketinggian, suhu dan kelembaban, serta parameter lainnya yang mempengaruhi.

Referensi

- [1]. Lewis, Chris, *Biological Fuel*, Arnold, London, 1983.
- [2]. Takun, Pongsakor, Somyot Kaitwanidvilai and Chaiyan Jettanasen, *Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic*, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011, Vol II, IMECS 2011, Hong Kong, 16-18 May 2011
- [3]. Usta, M. A. Ö. Akyaz, İ. H. Altaş. *Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller*. 6th International Advance Technologies Symposium (LATS'11), Elazığ, Turkey, 16-17 May 2011.
- [4]. Catalin, Alexandru, *Optimal Design of the Controller for a Photovoltaic Tracking System using Parametric Techniques*, ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume IX (XIX), NR1, 2010.
- [5]. R. Patel, Mukund, *Wind and Solar Power System*, CRC Press, Newyork. 1999.
- [6]. Lorenzo, Eduardo, *Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic Systems*, PROGNEA, Sevilla, 1994.