

## **MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BERDASARKAN METODE *PERTURB AND OBSERVE* DENGAN SISTEM *TRACKING* PANEL SURYA *SINGLE AXIS***

**Istiyo Winarno, S.T., M.T.<sup>1</sup>, Lia Natasari<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah Surabaya

Jalan Arief Rachman Hakim No.150, Keputih, Sukolilo, Kota SBY, Jawa Timur 60111

\*Email : Lia.nata999@gmail.com

### **ABSTRAK**

Energi terbarukan merupakan salah satu dari energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar untuk pembangkit listrik. Diantaranya yaitu Energi surya. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu sebagai gelombang dan sebagai partikel yang disebut foton. Dengan memanfaatkan energi surya tersebut, diperoleh solusi yaitu sistem yang mampu memaksimalkan tegangan atau yang disebut *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Dimana dengan *Maximum Power Point Tracker* tersebut bertujuan untuk memaksimalkan keluaran daya yang diserap lebih optimal. Algoritma penjejak menggunakan *perturb and observe*. Sebuah algoritma yang mencari  $dP/dV$  yang bernilai nol sebagai pertanda puncak kurva *Maximum Power Point* (MPP). Untuk lebih memaksimalkan lagi, sistem yang dibuat pada penelitian ini menggunakan sistem panel surya bergerak. Dimana penggerakannya menggunakan motor DC gearbox. Hasil yang diperoleh dari sistem ini adalah *tracking* panel surya *single axis* yang dapat tegak lurus dengan arah matahari dan mendapatkan nilai tegangan, arus dan daya yang lebih besar dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) berdasarkan metode *perturb and observe*.

**Kata kunci:** Energi surya, *Maximum Power Point Tracker* (MPPT), *Perturb and Observe*, motor DC gearbox

### **ABSTRACT**

*Renewable energy is one of the alternative energy as a substitute for fuel for a power plant . Including the solar energy. As it is known that both visible and invisible lights have two properties as waves and as particles called photons. By utilizing the solar energy, obtained a solution that is a system capable of maximizing the voltage or the so-called Maximum Power Point Tracker (MPPT). Which with maximum power point tracker was aimed at maximize output resources absorbed more optimal . The tracking algorithm uses perturb and observe. An algorithm looking for  $dP / dV$  that is zero as a sign of the peak of the Maximum Power Point (MPP) curve. To be more maximize again the system created in this research using a moving solar panel system. As a panel drive using DC motor coupling with box. The results obtained from this system are single axis solar tracking panels that can be perpendicular to the direction of the sun and obtain higher voltage, current and power values using Maximum Power Point Tracker (MPPT) based on perturb and observe methods.*

**Keywords :** solar energy, *Maximum Power Point Tracker* (MPPT), *Perturb and Observe*, DC motor coupling with box

### **PENDAHULUAN**

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (renewable energy) banyak tersedia di Indonesia. Berdasarkan data dari Departemen ESDM (ESDM, 2006). Prinsip kerja Panel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu sebagai gelombang dan sebagai partikel yang disebut

foton (Beiser,1987). Dengan menggunakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian diode p dan n, cahaya yang datang akan mampu diubah menjadi energi listrik (Kwok, 1995).

Panel Surya dibagi bermacam-macam menurut dayanya antara lain yang dijual di pasaran yaitu 10Wp, 20Wp, 30Wp, 40Wp, dll tergantung dari berapa besar daya yang diperlukan sesuai dengan kebutuhannya.

Menurut Danang Susilo (2010) Energi

yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69 persen dari total energi pancaran matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule pertahun., energi ini setara dengan  $2 \times 10^{17}$  Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10000 kali konsumsi energi diseluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1persen saja permukaan bumi dengan panel surya yang memiliki efisiensi 10 persen sudah mampu menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini.

Permasalahan utama pada penggunaan panel surya adalah pembangkitan tenaga listrik yang rendah, terutama pada kondisi radiasi yang rendah. Dan jumlah daya listrik yang dibangkitkan berubah secara berkala seiring dengan perubahan cuaca. Oleh karena itu *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) yang telah ditemukan dan tertulis pada jurnal ilmiah internasional seperti *Perturb and Observe, Incremental Conductance, Dynamic Approach, Temperature Methods, Artificial Neural Network method, Fuzzy Logic method*, dll (Surojo, 2010). Semua tersebut berbeda-beda dalam aspek termasuk kesederhanaan, kecepatan, implementasi hardware, sensor yang dibutuhkan, biaya, efektifitas, dan parameter yang dibutuhkan.

Maka berdasarkan latar belakang yang telah diungkapkan diatas, pada penelitian ini penulis merancang sebuah sistem pelacak Photovoltaick (PV) dengan dua derajat kebebasan yang menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) berdasarkan metode *Perturb and Observe*. Sehingga sistem ini dapat mengikuti pergerakan matahari dan dapat menghasilkan nilai energi yang lebih optimal.

## METODE

Dibawah ini menjelaskan mengenai rancangan sistem dari pemanfaatan panel surya dengan sistem *tracking single axis* menggunakan penggerak motor DC dan sistem MPPT metode *Perturb and Observe* yang terdiri dari terdiri atas sel surya (*photovoltaic*), *buck-boost converter*, baterai, dan arduino uno sebagai komponen kendalinya.

## Perancangan Panel Surya

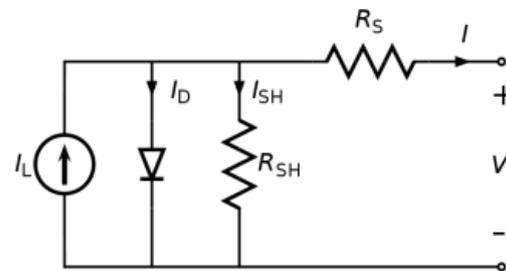
Pada penelitian ini yang di gunakan sebagai PLTS adalah 1 panel surya yang dapat menghasilkan 50 WP. Panel surya ini merupakan jenis *monocrystalline silicon*. Untuk spesifikasinya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Spesifikasi Panel Surya 50 WP

## Sel Surya

Model matematik dikembangkan untuk menirukan sel surya. Gambar 2 menunjukkan rangkaian persamaan sel surya, dimana  $I$  dan  $V$  adalah arus dan tegangan sel surya, kemudian,  $I_L$  adalah *cell's photocurrent*.  $R_{sh}$  dan  $R_s$  adalah tahanan shunt dan tahanan seri dari sel surya.



Gambar 2. Rangkaian persamaan sel surya

Persamaan dari rangkaian persamaan diatas adalah :

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[ \frac{q(V + IR_S)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

Dimana :

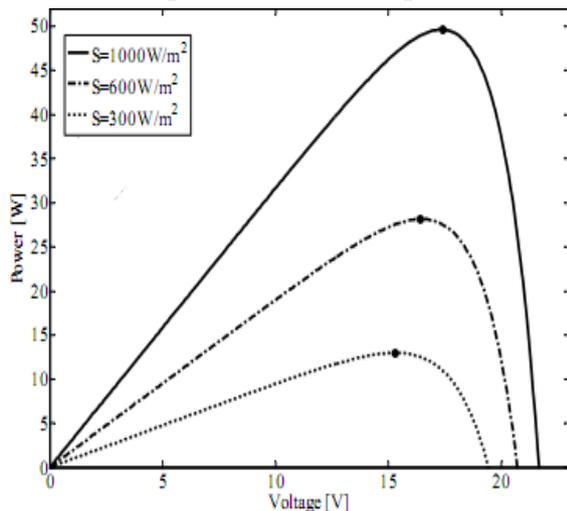
$I_0$  = arus saturasi reverse (Ampere)

$n$ =faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

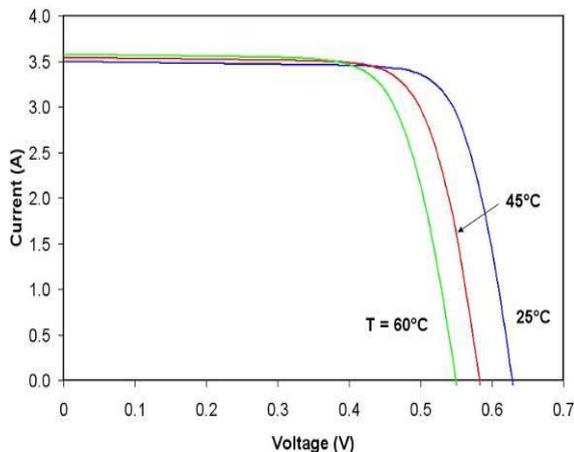
$q$ =pengisian electron ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  C)  
 $k$ =konstanta Boltzman ( $1.3806 \cdot 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>)  
 $T$ =temperature sel surya ( $^{\circ}$  K)

Persamaan diatas digunakan dalam simulasi menggunakan komputer untuk mendapatkan karakteristik keluaran sel surya, seperti pada gambar 3 dan 4. Kurva ini menunjukkan sangat jelas bahwa karakteristik

keluaran sel surya adalah *non-linier* dan sangat dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari, temperatur dan kondisi pembebanan.



(Rusminto Tjatur Widodo, 2010)



**Gambar 3.** Karakteristik P-V untuk level radiasi yang berbeda. Tiap titik mewakili MPP dari masing-masing kurva

**Gambar 4.** Karakteristik I-V pada temperatur permukaan sel surya yang berbeda

**Perancangan Mekanik *Single Axis***

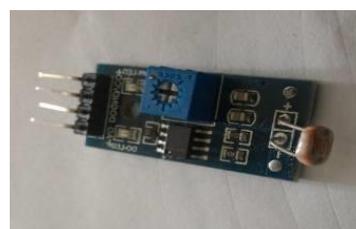
Pada perancangan mekanik *single axis* ini menggunakan bahan aluminium sebagai tempat panel surya, dengan karakteristik mekanik tinggi 140 cm, panjang penampang panel surya 67 cm dan lebar 54 cm. Agar panel surya dapat mengikuti sinar matahari maka penampang panel surya di pasang 2 buah bearing linear, untuk *design* mekanik dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 5.** Rangkaian Keseluruhan sistem

**Modul Sensor LDR**

Pada modul sensor LDR ini menggunakan 2 buah yang akan di tempatkan pada 1 sisi panel surya, fungsi modul sensor LDR pada panel surya ialah sebagai parameter penggerak posisi panel surya untuk mengikuti sinar matahari yang memiliki nilai insensitas cahaya yang tinggi. Modul sensor LDR di perlihatkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Modul Sensor LDR

### Perancangan Amperemeter dan Voltmeter Digital

Amperemeter dan voltmeter yang digunakan adalah modul multimeter digital yang dapat menghitung arus dan tegangan DC. Modul amperemeter dan voltmeter digital di gunakan untuk mengukur *output* atau keluaran dari panel surya 50 WP.



Gambar 7. Amperemeter Dan Voltmeter Digital

### Perancangan Rangkaian Driver Motor

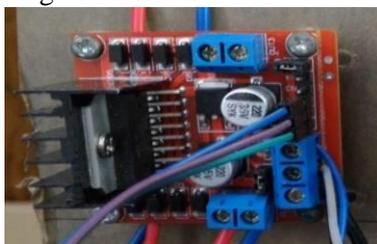
Dalam perancangan kontrol motor ini digunakan sebuah *gearbox DC motor* yang akan menggerakkan posisi panel surya.



Gambar 8. Motor DC

Untuk menggerakkan motor DC diperlukan sebuah rangkaian driver yang digunakan untuk mengendalikan arah putaran maupun kecepatan putaran. Rangkaian driver menggunakan IC L298N. IC ini memiliki konfigurasi 2 buah *H-bridge driver motor* dengan 4 *input* dan 4 *output* untuk mengendalikan arah putaran *motor*. IC *driver motor* ini dapat mengendalikan *motor DC* dari masukan yang berlogika *high* atau *low*.

Driver motor yang digunakan dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini:



Gambar 9. Driver Motor L298

### Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Sistem *Maximum Point Tracker* (MPPT) sepenuhnya adalah sebuah rangkaian devais elektronik yang dapat mengubah-ubah titik operasi dari panel surya. Salah satu metode mudah yang dapat diterapkan pada sistem MPPT adalah dengan menaikkan/menurunkan tegangan sampai ditemukannya titik daya maksimal panel. Mengingat perubahan level iluminasi sun power berubah-ubah setiap waktu, diharap system MPPT dapat bekerja dinamis dalam mencari titik daya maksimum (Farhan A, 2010)



Gambar 10. Modul solar charger

### Parameter Kualitas Sistem MPPT

Kualitas sistem *MPPT* tentu perlu diukur agar performa dari sistem *MPPT* tersebut dapat diketahui. Pengukuran kualitas sistem *MPPT* juga berguna untuk proses pengembangan sistem *MPPT*. Terdapat tiga parameter yang dapat menentukan kualitas sistem *MPPT* (Yi&Fa, 2009), yaitu :

- Parameter dinamis. ( $t = \text{waktu}$ )  
Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem *MPPT* untuk mencari titik daya maksimal ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan (suhu sel atau radiasi matahari berubah). Semakin cepat waktu yang dibutuhkan, semakin baik sistem *MPPT* tersebut.
- Parameter statis. ( $\Delta P <$ )  
Merupakan fluktuasi nilai keluaran ketika titik daya maksimum sudah tercapai dan tidak terjadi perubahan kondisi lingkungan (suhu sel atau radiasi matahari tidak berubah). Semakin kecil fluktuasi yang terjadi, maka semakin baik algoritma *MPPT* tersebut.
- Parameter daya aktual dan daya ideal.  
Merupakan perbandingan daya keluaran yang aktual dalam satu

periode waktu dengan daya maksimum yang diukur pada kondisi kerja sel surya tersebut. Nilai parameter ini akan berkisar antara 0 sampai 100%. Rasio daya dapat diperoleh berdasarkan Persamaan (1):

Rasio Daya Output adalah

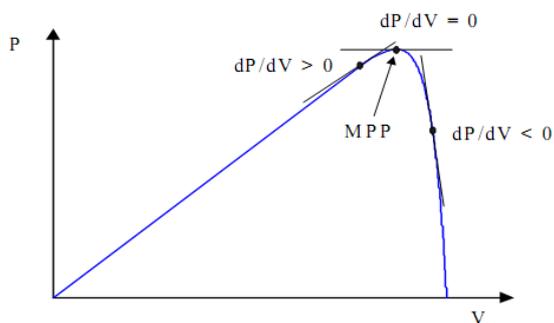
$$\frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Daya Maksimum rating}} \times 100 \% \dots \dots \dots (1)$$

Semakin besar nilai rasio ini, maka algoritma MPPT tersebut semakin baik.

**Perturbation & Observation (P & O)**

Metode *Perturbation & Observation* terdiri dari dua tahap; *perturb* yaitu mengubah dan *observation* yaitu menghitung perubahan daya akibat aksi *perturb* sebelumnya. Jika perubahan daya positif maka *perturb* selanjutnya akan tetap pada arah yang sama, sedangkan jika perubahan daya negative maka *perturb* akan dibalik (Esram & Chapman, 2007).

P&O disebut juga dengan metode *hill climbing*, yang mengacu pada karakteristik V-P dari sel surya. Seperti pada Gambar 4, terdapat 3 jenis titik yang berada pada 3 posisi. Di sebelah kiri puncak  $dP/dV > 0$ , dipuncak kurva  $dP/dV=0$  dan di sebelah kanan puncak  $dP/dV < 0$ .



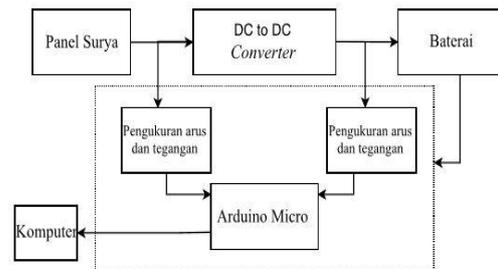
**Gambar 11.** Posisi  $dP/dV$  yang berbeda pada kurva daya sel surya

Di sebelah kiri dari MPP perubahan daya terhadap perubahan tegangan  $dP/dV > 0$ , sementara di sebelah kanan,  $dP/dV < 0$  (lihat gambar 4). Pada gambar 1, jika tegangan kerja sel surya diganggu (*perturbed*) dan berada pada  $dP/dV > 0$ , hal tersebut diketahui bahwa gangguan

(*perturbation*) dilakukan untuk memindahkan tegangan kerja sel surya maju ke arah MPP. Jika  $dP/dV < 0$ , kemudian perubahan titik kerja mengarahkan sel surya jauh dari MPP, maka algoritma P&O membalik arah gangguan. (Rusminto Tjatur Widodo, 2010)

**Perancangan Secara Umum**

Berikut merupakan perancangan umum sistem Panel Surya Sistem MPPT.

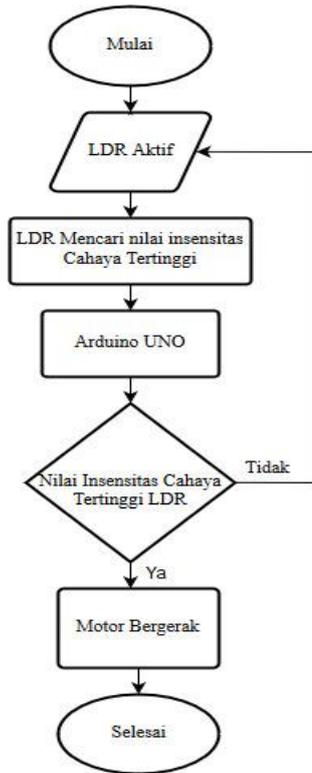


**Gambar 12.** Diagram Blok Perancangan Umum Sistem MPPT

Pada gambar 4 di atas dapat dijelaskan bahwa panel surya menghasilkan arus dan tegangan dc yang dihubungkan dengan sensor arus dan tegangan sebagai indikator terhadap arus dan tegangan sebelum diubah levelnya, dinaikkan atau diturunkan oleh *buck boost converter* yang dikontrol oleh arduino uno. Sensor arus dan tegangan setelah *buck boost converter* sebagai indikator terhadap arus dan tegangan yang sudah diubah levelnya, sehingga kita dapat melihat perubahan tegangan atau arus saat sebelum dan sesudah diubah levelnya. Selain dapat melihat perubahan arus atau tegangan kita juga dapat melihat tegangan atau arus yang dibutuhkan oleh baterai.

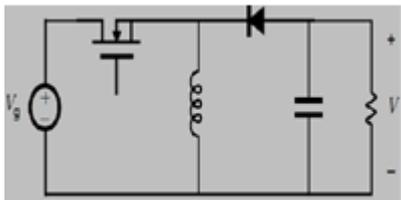
**Perancangan Sistem Tracking Panel Surya Single Axis**

Berikut merupakan perancangan umum sistem Panel Surya Sistem *Tracking Single Axis*.



Gambar 13. Diagram Alir Sistem Tracking Single Axis

**Perancangan Perangkat Keras (Hardware) Buck-boost converter**



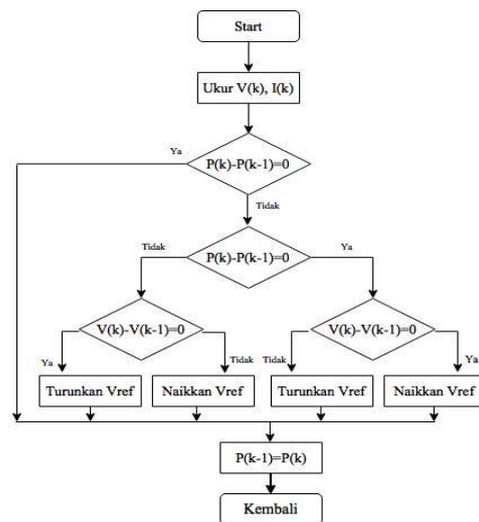
Gambar 14. Rangkaian buck-boost converter

Komponen ini merupakan komponen terpenting dalam sistem MPPT karena dengan inilah tegangan kerja sistem dapat diubah melalui dutycycle (D). Buck-boost converter sendiri memiliki fungsi untuk menaikkan atau menurunkan level tegangan. DC-DC Converter yang digunakan dalam sistem MPPT ini diuji terlebih dahulu untuk mengetahui nilai efisiensi yang dapat dihasilkan oleh rangkaian converter secara keseluruhan.

**Perancangan Perangkat Lunak (Software) Algoritma Perturb and Observe**

Seperti diketahui bahwa karakteristik daya keluaran sel surya dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari dan temperature permukaan sel surya, diperlukan sebuah algoritma untuk mencari titik daya maksimum (MPP) dan menjaga pada titik kerja tersebut.

Terdapat beberapa cara untuk menjejak titik daya maksimum tersebut seperti *Perturb and Observe*, *Incremental Conductance*, *Dynamic Approach*, *Temperature Methods*, dll. Pada Pembahasan ini dipilih algoritma *perturb and observe* sebagai algoritma control MPPT karena komputasi yang mudah dan tepat. Berikut merupakan *flowchart* dari algoritma *perturb and observe*.



Gambar 15. flowchart dari algoritma *perturb and observe*

**Arduino Uno**

Input dan Output 3 Setiap 14 pin digital pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi pin Mode, digital Write, dan digital Read. Input/output dioperasikan pada 5 volt. Setiap pin dapat menghasilkan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor 20-50 Kohms.



Gambar 16. Rangkaian Arduino Uno

### Perancangan Mekanik

Pada tahap perancangan mekanik ini akan dilakukan perancangan dan pembuatan desain mekanik sistem dengan dua derajat kebebasan yang menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) berdasarkan metode *Perturb and Observe*.



Gambar 17. Mekanik keseluruhan



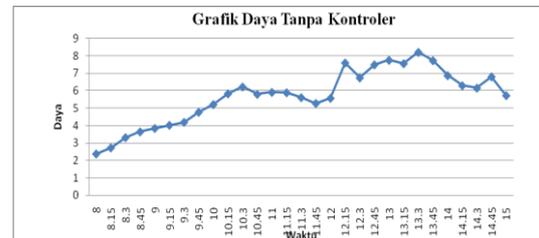
Gambar 18. Penampang atas sistem keseluruhan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dipaparkan hasil penelitian yang mencakup hasil pengujian karakteristik panel sel surya *statis* dan *dinamis*, berdasarkan perancangan sistem yang telah dibahas sebelumnya. Langkah selanjutnya untuk mengetahui hasil kerja sistem tanpa kontroler, dengan sistem yang menggunakan *tracking single axis*, dan dengan sistem yang menggunakan MPPT. Hal ini ditujukan untuk mengetahui apakah sistem dengan MPPT dapat meningkatkan hasil kinerja dari sebuah panel surya yang statis tanpa menggunakan kontroler.

### 4.1 Hasil Sistem Tanpa Kendali

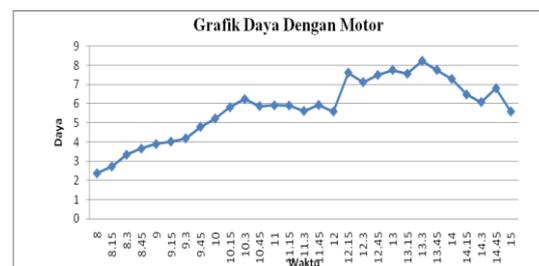
Pengujian sistem tanpa kontroler dilakukan tanpa menggunakan kontroler atau panel surya *statis* dan dengan waktu cuplik atau *sampling* setiap 15 menit sekali. gambar grafik hasil pengujian sistem tanpa kontroler yang dilakukan mulai pukul 08.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB.



Gambar 19. Grafik Daya Tanpa Kontroler

### Hasil Sistem Dengan *Tracking Single Axis*

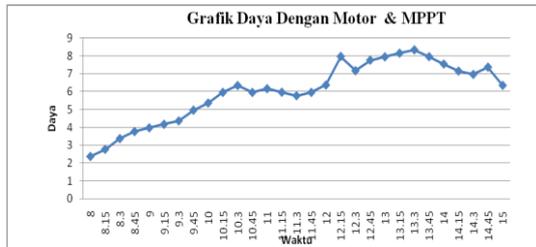
Pengujian sistem dengan *tracking single axis*, dilakukan dengan cara mengatur arah panel surya untuk mendapatkan nilai daya tertinggi secara otomatis dengan memberikan satu derajat kebebasan untuk mengatur arah panel surya kearah yang memiliki nilai insensitas cahaya tertinggi.



Gambar 20. Grafik Daya Dengan Motor

### Hasil Sistem Dengan *Tracking Single Axis*, & MPPT

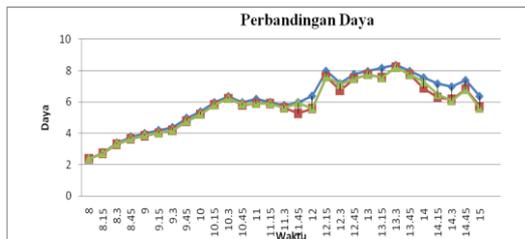
Pengujian sistem dengan motor dilakukan dengan cara mengatur arah panel surya untuk mendapatkan nilai daya tertinggi secara otomatis dengan memberikan satu derajat kebebasan untuk mengatur arah panel surya kearah yang memiliki nilai insensitas cahaya tertinggi. Dan menggunakan system MPPT untuk mendapatkan nilai tegangan puncak.



**Gambar 21.** Grafik Daya Dengan Motor & MPPT

### Perbandingan Daya

Perbandingan pengujian sistem tanpa kendali, dengan *tracking single axis*, dan dengan MPPT. Dilihat bahwa perbandingan antara data daya yang di hasilkan tanpa control, daya yang di hasilkan dengan *tracking single axis* dan dengan MPPT. dapat di lihat perbedaannya dimana hanya pada pukul 10:45 – 15:00 WIB dimana nilai daya yang di hasilkan pada daya tanpa kontrol mengalami perbedaan jika dibanding dengan nilai daya yang menggunakan *tracking single axis*. Dan juga pada MPPT terlihat perbedaan daya antara ketiga sistem.



**Gambar 22.** Perbandingan Daya

### SIMPULAN DAN SARAN

Mengacu pada hasil penelitian, disimpulkan bahwa panel surya yang bekerja dengan motor juga MPPT dengan algoritma *perturb and observe* dapat bekerja dengan baik. Efisiensi daya yang mampu dicapai adalah 86,5%. Nilai ini tidak menutup kemungkinan untuk ditingkatkan pada penelitian selanjutnya. Dengan mengurangi kerugian daya pada komponen-komponen yang masih bisa untuk dikurangi. Dan Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan perbaikan pada rangkaian mekanis menambahkan *rotary encoder* pada motor DC atau menggantinya dengan motor stepper, maupun merubah sistem menjadi *dual axis* sehingga mampu untuk bekerja lebih optimal.

Dan juga dilakukan pengujian dengan kondisi berbeda seperti model ketinggian, suhu dan kelembaban, serta parameter lainnya yang mempengaruhi agar daya yang di hasilkan oleh panel surya bisa lebih optimal.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aprian, Farhan. 2010. *Perancangan stand alone Pv System dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT) menggunakan modified Hill Climbing*. Proceeding seminar tugas akhir, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arduino. 2012. *Arduino UNO*. <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, diakses pada 15 Agustus 2017.
- Atallah Ahmed M, Almoataz Y, Abdelaziz, and Raihan S, Jumaah. 2014. *Implementation of perturb and observe MPPT of PV System with direct control method using buck boost converters*. Emerging Trends in Electrical, Electronics & Instrumentation Engineering : An International Journal (EEIEJ), Cairo : Ain Shams University.
- Beiser, A. 1987. *Concepts of Modern Physics, 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, Inc., Diterjemahkan oleh The Houw liong, 1992, Konsep Fisika Modern*. Bandung : Erlangga.
- Darmawan, Dianggoro. 2011. *Perancangan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Panel Surya Menggunakan Konverter Cuk Dengan Metode Hill Climbing*. Proceeding seminar tugas akhir, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dwidayanti, Ranny dkk. 2017. *Optimasi Pengisian daya baterai pada sel surya menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Lampung : Universitas Lampung.
- Effendy, Machmud. 2013. *Rancang bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) solar sel untuk aplikasi pada system grid pembangkit listrik tenaga angin (PLTA<sub>g</sub>)*. Jurnal GAMMA, Malang : Universitas Muhammadiyah Malang.

- Ernadi Dwiyan Anugrah, Margo Pujiantara, dan Mauridhi Hery Purnomo. 2016. *Desain Maximum Power Point Tracking untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P & O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin*. Jurnal Teknik ITS, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Esrarn, T., & Chairman, P. L. 2007. *Comparation of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. Energy Convertio, IEEE Transcation on, 22 (2), 439-449.
- Kurniawan, Singgih. 2012. *Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan converter dc-dc tipe cuk menggunakan metode logika fuzzy pada fotovoltaik*. Seminar Tugas Akhir, Semarang : Universitas Diponegoro.
- Machmud Effendy, Nur Alif Mardiyah dan Khusnul Hidayat. 2017. *Implementasi maximum power point tracking pada photovoltaic berbasis P&O – Fuzzy*. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Patel, Uma shanker. 2013. *Maximum Power Point Tracking using perturb & observe algorithm and compare with another algorithm*. International Journal Of Digital Application & Contemporary Research, India : Raipur Institute Of Technology.
- Rohman Fadlur, Mochammad Iqbal. 2016. *Implementasi IOT dalam rancang bangun system monitoring panel surya berbasis arduino*. Prosiding SNATIF Ke-3, Kudus : Universitas muria kudus.
- Salam, M. Firman. 2017. *Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Panel Surya Menggunakan perturb and observe sebagai control buck-boost converter*. Jurnal Teknik Elektro, Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Surojo, dkk. 2010. *Desain dan simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Sel Surya menggunakan fuzzy logic control untuk control boost converter*. 7 th basic science national seminar proceeding, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Susilo, Danang. 2010. *Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Penjejak Matahari dan Pemantulan Cahaya Matahari Sebagai Sumber Daya Pendukung Perusahaan Listrik Negara (PLN) Sub Judul : Penjejak Matahari Berbasis Sensor Cahaya Dan Waktu*. Jurnal POMITS. Surabaya : Politektik Elektronika Negeri Surabaya.
- Tito, Beng. 2012. *Metode MPPT Baru Untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI*. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- Tridiyanto, Erik dan Tio Rizkidianto Wicaksono. 2016. *Maximum Power Point Tracking dengan algoritma perturb and observation untuk turbin angin*. . Jurnal Ilmiah SETRUM, Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. .
- Wibisono, Gunawan. 2014. *MPPT Menggunakan Metode Hibrid JST dan ALgoritma Genetika untuk Sistem Photovoltaic*. Jurnal EECIS, Malang : Universitas Brawijaya.
- Yuwono, Budi. 2005. *Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C5*. Surakarta : Universitas Surakarta.