OTOMATISASI PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN SISTEM *TRACKING* AKTIF TIPE *SINGLE-AXIS*

AUTOMATION SINGLE AXIS TYPE OF ACTIVE SYSTEM TRACKING ON PHOTOVOLTAIC

Deny Suryana

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya, Kementerian Perindustrian

Jl.Jagir Wonokromo No.360-Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

E-mail: deny Suryana.81@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

23 February 2016

Received in revised form date:

29 March 2016

Accepted date:

29 April 2016

Available online date:

31 May 2016

Abstract

Power generation from photovoltaic (PV) power is affected by radiation intensity of the sun and temperature of the environment. PV can produce maximum power, when its position to the sun is optimum. The objective of this research is to control PV position toward the sun by using an active tracking system in order to produce optimum electric power. Two Light Dependent Resistor (LDR) sensors were placed in the east and west side of the PV, and a balancer was placed in between. When the sun is on the east side from 7 a.m to 11 a.m the east LDR was exposed to light, while the west LDR was covered by balancer. When the sun is on the west side from 1 p.m to 5 p.m, west LDR was exposed to the light, while the east LDR was covered by balancer. The light intensity difference that is received by each LDR showed that an active tracking system would conduct a control action to PV position so that it will be perpendicular to the sun. The testing result showed that the difference of maximum power was 39,88 watt. It also showed that the active tracking system with single axis type could become a reference for maximum solar utilization.

Keywords: Photovoltaic, Balancer, Sun

Kata kunci:

Panel Surya

Sekat

Matahari

Abstrak

Daya listrik yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh intensitas radiasi cahaya matahari dan suhu lingkungan. Agar panel surya mampu menghasilkan daya maksimal, perlu dilakukan pengaturan posisi panel surya terhadap matahari untuk meningkatkan intensitas radiasi cahaya matahari. Tujuan penelitian ini adalah mengendalikan posisi panel surya terhadap posisi matahari dengan menggunakan metode sistem *tracking* aktif tipe *single-axis* (satu poros yang menggerakkan posisi panel surya) untuk menghasilkan daya listrik yang lebih maksimal. Dua buah sensor LDR (sensor cahaya yang didasarkan intensitas radiasi cahaya) diletakkan di sisi Timur dan Barat panel surya, dimana diantara kedua sensor tersebut dipasang sekat (balancer). Apabila matahari berada disisi timur (pukul 07:00 – 11:00 WIB), LDR timur terkena cahaya sedangkan LDR barat akan terhalang oleh sekat. Apabila matahari berada disisi barat (pukul 13:00 - 17:00 WIB), LDR barat akan terkena cahaya dan LDR timur akan terhalang oleh sekat. Berdasarkan perbedaan intensitas cahaya yang diterima oleh masing-masing sensor, sistem *tracking* aktif akan melakukan aksi kendali terhadap posisi panel surya agar tegak lurus dengan cahaya matahari. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan daya maksimum sebesar 39.88 watt dari daya yang terukur. Sistem *tracking* aktif tipe *single-axis* dapat dijadikan referensi pemanfaatan tenaga matahari secara maksimal.

PENDAHULUAN

Daya listrik yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari untuk menghasilkan daya maksimum sehingga perlu dilakukan pengaturan posisi panel surya terhadap matahari. Sederhananya, ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, energi yang dibawa oleh sinar matahari ini akan diserap oleh elektron pada sambungan p-n untuk berpindah dari bagian dioda p ke n dan untuk selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel. Solar sel mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Secara sederhana solar sel terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang apabila tertimpa sinar matahari akan terjadi aliran elektron. Aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Prinsip dari panel surya adalah mengubah intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk menjalankan peralatan elektronik. Panel surya/modul surya merupakan suatu paket yang terdiri dari sel-sel yang disusun secara horizontal dan dilapisi oleh kaca sehingga dapat dipasang menghadap matahari. (Mudhofiroh and Noor 2014)

Penelitian sebelumnya pembuatan *system tracking* aktif *single-axis* menggunakan *setbox* sudah pernah dibuat oleh (Bin Juine Huang *et al.* 2013)(B. J. Huang, Ding, and Huang 2011) tetapi dari segi biaya atau nilai ekonomis terlalu mahal dan masih impor (utuh).

Beberapa teori mengenai sistem penjejak matahari sudah dikemukakan mulai tahun 1983 (Braun and Mitchell 1983) Keduanya telah mengembangkan formulasi untuk menghitung sudut datang matahari terhadap sebuah bidang tidak bergerak (*fixed surfaces*) maupun bidang yang bergerak (*tracking surfaces*).

Untuk mengembangkan sistem *tracking* aktif matahari, perlu dilakukan penelitian mengenai aplikasi kendali cerdas pada sebuah sistem pengendalian posisi panel surya berdasarkan perbedaan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh LDR sisi timur dan LDR sisi barat pada Panel Surya. Teknologi *mikrokontroller* dan pencatudayaan PWM memungkinkan dalam implementasinya sebagai pengendali digital dengan konsumsi daya listrik yang rendah. (Amin, Azim, and Sopian 2008) (Puji Hartono 2008), (Yilmaz, Javed, and Shah 2006)

Dari literatur maupun penelitian diatas, informasi yang kami dapatkan dari hasil penelitian masih kurang. Pada karya tulis ilmiah ini kami mencoba untuk mengendalikan posisi panel surya terhadap posisi matahari dengan menggunakan metode sistem *tracking* aktif tipe *single-axis* untuk menghasilkan daya listrik yang maksimal.

Dua buah sensor LDR (sensor cahaya yang didasarkan intensitas radiasi cahaya) diletakkan di sisi Timur dan Barat panel surya, dimana di antara kedua sensor tersebut dipasang sekat (*balancer*) (Amin, Azim, and Sopian 2008), (Puji Hartono 2008). Apabila matahari berada di sisi timur (pukul 07:00 – 11:00 WIB) LDR timur terkena cahaya sedangkan LDR barat akan terhalang oleh sekat. Apabila matahari berada di sisi barat (pukul 13:00-17:00 WIB) maka LDR barat akan terkena cahaya dan LDR timur akan terhalang oleh sekat. Berdasarkan perbedaan intensitas cahaya yang diterima oleh masing-masing sensor, *system tracking* aktif akan melakukan aksi kendali terhadap posisi panel surya agar tegak lurus dengan cahaya matahari. (Singh 2013), (Sefa, Demirtas, and Çolak 2009)

METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya yang digunakan tipe monokristalin dengan daya maksimum 10 Watt ukuran 39,6 cm x 28,9 cm x 2,3 cm dan berat 1,5 kg. Pemilihan panel surya dalam penelitian ini didasarkan pada *survey* di lapangan dengan pertimbangan daya maksimum atau *watt peak* ukuran kecil. Hal ini akan berpengaruh pada berat panel surya. Semakin besar *watt peak* sebuah panel surya semakin besar luasannya, semakin berat panel tersebut. (Braun and Mitchell 1983)

Di samping itu, kami menggunakan dua buah sensor LDR, *device* kendali yang digunakan adalah IC Mikrokontroler *ATmega8535* dan satu buah motor DC. (Puji Hartono 2008)

Alat yang digunakan pengukuran dalam penelitian ini adalah Multimeter untuk mengukur arus listrik pada *solar sell*, skala sudut (*inclinometer*) untuk mengukur sudut kemiringan pada *solar sell* dan *luxmeter* untuk mengukur kuat cahaya.

Sensor LDR dan Desain posisi LDR pada panel panel surya

Fungsi *Light Dependent Resistor* (LDR) adalah untuk menghantarkan arus listrik jika menerima sejumlah intensitas cahaya (Kondisi Terang) dan menghambat arus listrik dalam kondisi gelap. Bagian sensitif cahaya dari LDR adalah material *Cadmium-Sulfida* (CdS) yang terlihat sebagai jalur yang berombak (*wavy track*) pada sebuah LDR.

Gambar 1. Sensor LDR

Sistem *tracking* aktif matahari yang dirancang adalah tipe *single-axis* (sumbu tunggal), dimana panel surya hanya bergerak 180° dari sisi timur ke barat mengikuti pergerakan matahari sehingga jumlah sensor LDR yang digunakan sebanyak dua buah. Masing-masing sensor ditempatkan pada sisi timur dan sisi barat terhadap sumbu putar panel surya. (Amin, Azim, and Sopian 2008), (Puji Hartono 2008)

Di antara kedua LDR dipasang sekat/*balancer*. Fungsi *balancer* ini untuk memberikan efek bayangan pada salah satu sensor LDR. Sebuah benda dalam kondisi tegak lurus terhadap sumber cahaya apabila bayangan benda tersebut tidak terlihat. Jika dalam hal ini bayangan *balancer* tersebut tidak menutupi salah satu sensor LDR, panel surya tersebut tegak lurus terhadap cahaya matahari. Gambar 1 menunjukkan Posisi sensor LDR dan *balancer*. (Amin, Azim, and Sopian 2008), (Puji Hartono 2008), (Cid-Pastor *et al.* 2011)

Gambar 2. Posisi LDR dan Balancer Pada Panel Surya

Tabel 1. Spesifikasi pada panel surya

Jenis	Monokristalin
Merk	Sinyoku
Maximum Power	10 watt
Voltage	17 V
Ukuran (P x L x T)	(39.6 cm x 28.9 cm x 2.3 cm)
Berat	1.5 Kg

Adapun tujuan memilih motor DC sebagai aktuator pada sistem ini yaitu agar

panel surya dapat berotasi secara halus/*smooth*. Motor DC yang digunakan sudah dilengkapi dengan *gearbox* sebagai sistem pereduksi kecepatan putaran. Gambar 3 di bawah ini motor jenis motor DC yang digunakan pada penelitian.

Gambar 3. Motor DC jenis RS

Tabel 2. Spesifikasi motor DC jenis RS

Kecepatan	2200 rpm
Input power	3,5 watt
Tegangan	12 Volt

Motor *DC* akan berhenti apabila tegangan keluaran LDR timur sama dengan LDR barat dengan toleransi tertentu. Motor akan berputar searah jarum jam jika tegangan keluaran LDR timur lebih besar dari LDR barat dan motor akan berputar berlawanan jarum jam jika tegangan LDR timur lebih kecil dari LDR barat.

Perancangan dan Realisasi Kendali Mikrokontroler *ATMega8535*

Mikrokontroler *ATMega8535* merupakan salah satu kelas dari prosesor *Alf and Vegard's Risc* (AVR processor) yang dikembangkan oleh vendor Atmel. AVR menggunakan arsitektur *Reduce Instruction Set Computer* (RISC) yang mempunyai lebar pulsa delapan bit dengan frekuensi kerja sama dengan frekuensi osilator eksternal.

Tabel 3. Spesifikasi Mikrokontroler *ATMega8535*

Memori	- 8 KB <i>Flash</i> - 512 byte SRAM - 512 byte EEPROM
Timer/Counter	- 2 buah 8 bit <i>timer / counter</i> - 1 buah 16 bit <i>timer / counter</i> - 4 kanal PWM - 8 kanal ADC 10 bit atau 8 bit.

Gambar 4. Mikontroler *ATMega8535*

Diagram Perancangan Kendali

Pada penelitian ini penulis merancang dua skenario kendali, dimana perbedaannya terletak pada jumlah fungsi keanggotaan *input* dan *output*.

Gambar 5. Diagram *block system*

- *Set point* adalah intensitas matahari yang diterima di sisi timur panel surya karena pada saat *start-up* (pukul 07:30 WIB) posisi panel surya menghadap barat (posisi terakhir pada hari sebelumnya, yaitu panel menghadap ke barat).
- Variabel yang dikendalikan (keluaran) adalah posisi panel surya berdasarkan perbedaan intensitas matahari yang diterima di sisi timur dan barat panel surya.
- Variabel terukur (*measurement variable*) adalah intensitas matahari di sisi barat panel surya.
- Sinyal *feedback* dari sensor LDR adalah tegangan.
- Kendali menggunakan mikrokontroler, dengan masukan eror tegangan dan menghasilkan keluaran sinyal kendali.

Pengujian ADC

Pengujian ADC (Analog ke Digital) dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan ADC dalam mengambil *sampling* data dari sinyal analog. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil *display* LCD dan hasil perhitungan konversi tegangan analog ke digital secara manual. Pengujian ADC pada PORT A.0, PORT A.1, PORT A.2 pada *mikrokontroler ATmega8535* ini dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian ADC dengan variasi tegangan *input* naik dan pengujian ADC dengan variasi tegangan *input* turun. (Rizal, Wibowo, and Feriyadi 2013)

Pengujian sensor LDR

Pengujian Sensor LDR dilakukan untuk mengetahui hubungan kuat pencahayaan dengan tegangan yang dihasilkan oleh LDR. Pengujian dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian sensor dengan kuat pencahayaan semakin naik dan pengujian sensor dengan kuat pencahayaan semakin turun. Pengujian dengan kuat pencaha-

yaan semakin naik maksudnya adalah pengukuran dilakukan dari tingkat kuat pencahayaan terendah menuju tingkat kuat pencahayaan tertinggi (pukul 07:00-12:00 WIB). Sedangkan pengujian dengan kuat pencahayaan semakin turun maksudnya adalah pengukuran dilakukan dari tingkat kuat pencahayaan tertinggi menuju tingkat kuat pencahayaan terendah (pukul 12:00-17:00 WIB). (Amin, Azim, and Sopian 2008), (Puji Hartono 2008)

Pengujian Panel Surya

Pengujian panel surya dilakukan untuk mengetahui hubungan kuat pencahayaan dengan tegangan yang dihasilkan oleh Panel Surya. Pengujian dilakukan sama halnya dengan pengujian pada sensor LDR. (Puji Hartono 2008), (Alata, Al-Nimr, And Qaroush 2005)

Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di atap rumah dengan bantuan kompas sebagai alat inisialisasi arah timur dan barat. Pencatatan hasil pengukuran dilakukan setiap 30 menit meliputi nilai arus, tegangan, kuat cahaya, sudut kemiringan dan suhu. Pernyataan ini mengaitkan bahwa jika matahari berubah posisi sebesar 8° , akan membutuhkan waktu sekitar 30 menit atau setiap 15 derajat pergeseran matahari membutuhkan waktu satu jam. (Amin, Azim, and Sopian 2008), (Puji Hartono 2008) (Cid-Pastor *et al.* 2011)

Gambar 6. Posisi penelitian pada $7^\circ18'50''\text{LS } 112^\circ43'07''\text{BT}$

Gambar 6 menunjukan titik koordinat untuk pengambilan data menggunakan *Google Earth* versi 5.1. Kemudian diketahui bahwa penelitian dilakukan pada posisi 7°18'50"LS 112°43'07"BT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Set point dalam sistem ini adalah intensitas matahari pada pagi hari pukul 07:30 WIB. Intensitas matahari sebanding dengan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya. semakin tinggi tingkat intensitas radiasi matahari, semakin besar pula tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya. (Duffie and Beckman 2013), (Eke and Senturk 2012)

Terkait dengan hal di atas, dalam pembahasan mengenai respon sistem, variabel tegangan panel surya diasumsikan mampu mewakili intensitas radiasi matahari sehingga *set point* sistem bisa diwakili oleh tegangan panel surya ketika *start-up*, yaitu ketika pagi hari pukul 07:30 WIB artinya pada pagi hari matahari berada di sebelah timur panel surya sedangkan panel surya menghadap barat sehingga tegangan sensor LDR Timur lebih besar dari LDR Barat dan menghasilkan sinyal eror positif. Tegangan sensor LDR Timur lebih besar karena menerima energi foton yang lebih besar dari LDR Barat. Hal ini bisa terjadi karena LDR Barat terhalang oleh sekat yang terpasang diantara kedua sensor

Tabel 4. Hasil pengambilan data (Bin Juine Huang *et al.* 2013) (B. J. Huang, Ding, and Huang 2011)

	Suhu (°C)	Kuat Pencahayaan	Tracking Surface				Fixed Surface			Cuaca (pengamatan objektif)
			Posisi PV Busur derajat	Tegangan keluaran (Volt)	Arus keluaran (A)	Daya Listrik Panel Surya (Watt)	Tegangan keluaran (Volt)	Arus keluaran (A)	Daya Listrik Panel Surya (Watt)	
7:00	27,3	16130	35	17,47	0,04	0,70	15,34	0,04	0,61	Cerah
7:30	27,8	22170	35	17,6	0,09	1,58	15,53	0,05	0,78	Cerah
8:00	29,3	38400	35	17,96	0,19	3,41	15,88	0,09	1,43	Cerah
8:30	29,9	45100	43	18,1	0,32	5,79	16,07	0,14	2,25	Cerah
9:00	31,1	57600	50	18,38	0,43	7,90	16,5	0,16	2,64	Cerah
9:30	34,9	97300	58	19,24	0,43	8,27	18,08	0,22	3,98	Cerah
10:00	35,3	100700	65	19,32	0,45	8,69	18,21	0,31	5,65	Cerah
10:30	35,4	101700	73	19,34	0,46	8,90	19,26	0,38	7,32	Cerah
11:00	35,5	102300	80	19,35	0,47	9,09	19,33	0,46	9,09	Cerah
11:30	35,7	104700	88	19,4	0,48	9,31	19,36	0,47	9,10	Cerah
12:00	36,3	110600	95	19,53	0,49	9,57	19,47	0,49	9,54	Cerah
12:30	36,1	108300	105	19,44	0,48	9,33	19,33	0,47	9,09	Cerah
13:00	35,9	105400	115	19,38	0,47	9,11	19,17	0,39	7,48	Cerah
13:30	32,8	68300	120	18,6	0,47	8,74	18,36	0,29	5,32	Cerah
14:00	32,5	64200	130	18,52	0,45	8,33	18,15	0,23	4,17	Cerah
14:30	31,1	47500	135	18,17	0,37	6,72	17,29	0,15	2,59	Cerah
15:00	30,3	37100	140	17,95	0,28	5,03	16,23	0,09	1,46	Cerah
15:30	29,4	26400	145	17,72	0,1	1,77	16,13	0,03	0,48	Cerah
16:00	28,8	18600	145	17,56	0,04	0,70	15,6	0,02	0,31	Cerah
Total						122,97			83,09	

tersebut. (Amin, Azim, and Sopian 2008), (Puji Hartono 2008), (Jiang *et al.* 2005)

Pengujian alat ini dilakukan pada bulan Oktober 2012, *start-up* pukul 07:00 WIB dan berakhir pukul 16:00 WIB, dimana ada dua buah panel surya (spesifikasi mendekati sama) yang digunakan dalam pengambilan data ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Tabel 4 menunjukkan hasil pengambilan data setiap 30 menit yang dimulai pada pukul 07:00 WIB sampai dengan pukul 16:00 WIB pada selama bulan oktober 2012.

Dari Tabel 4 dapat dilihat pada jam 07:00 WIB sistem *tracking* aktif dengan sudut kemiringan 35° diperoleh hasil pengukuran daya sebesar 0,70 Watt dibandingkan dengan posisi panel surya statis yang mempunyai nilai pengukuran sebesar 0,61 Watt. Pada pukul 11:00 WIB sampai dengan pukul 12:30 WIB daya yang dihasilkan oleh kedua panel surya sama besar.

Pada Gambar 7 menunjukkan posisi panel surya tipe *tracking* aktif dibandingkan dengan tipe *fixed*.

Gambar 7. Posisi panel surya kondisi *Tracking* (a) dan Posisi panel surya kondisi *Fixed* (b)

Gambar 8. Grafik hubungan waktu terhadap kuat pencahayaan

Gambar 8 menunjukkan perubahan kuat pencahayaan yang diikuti dengan perubahan suhu. Mulai pukul 07:00 - 12:00 WIB hubungan kedua variabel tersebut semakin naik dan kemudian semakin turun pada pukul 12:00 - 16:00 WIB. Perubahan paling signifikan kuat cahaya terjadi pada pukul 09:00 - 09:30 WIB, yaitu dari 57600 lux menjadi 97300 lux, sedangkan perubahan suhu yaitu dari 31,1 °C menjadi 34,9°C dan pada pukul 13:00 - 13:30 WIB, yaitu dari 105400 lux menjadi 68300 lux, sedangkan perubahan suhu, yaitu dari 35,9 °C menjadi 32,8 °C.

Kuat pencahayaan tertinggi terjadi pada pukul 12:00 WIB, yaitu mencapai 110.600 lux, suhu tertinggi juga terjadi pada pukul 12:00 WIB yaitu sebesar 36,3 °C. Daya listrik yang dihasilkan panel

surya kondisi *tracking* dan *fixed* pada pukul 12:00 WIB juga tidak jauh berbeda, yaitu 9,57 dan 9,54 Watt.

Kuat pencahayaan terendah terjadi pada pukul 07:00 WIB, yaitu mencapai 16130 lux. Suhu terendah terjadi pada pukul 07:00 WIB, yaitu sebesar 27,3 °C. Daya listrik yang dihasilkan panel surya kondisi *tracking* dan *fixed* pada pukul 07:00 WIB, yaitu 0,70 dan 0,61 Watt. Jadi jika kuat pencahayaan rendah dan suhu rendah, daya listrik panel surya juga rendah.

Grafik suhu lingkungan pada Gambar 9 tidak berbeda jauh dengan grafik kuat pencahayaan, yaitu mencapai maksimum pada pukul 12:00 dengan suhu sebesar 36,3 °C. Gambar 4 dan 5 menunjukkan keterkaitan antara daya listrik panel surya dengan variabel kuat pencahayaan dan suhu. Pada

Gambar 9. Grafik hubungan waktu terhadap suhu lingkungan

Gambar 10. Grafik perbandingan daya listrik panel surya *tracking* vs *survice*

gambar tersebut menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan panel surya semakin bertambah mulai pukul 07:00 - 12:00 WIB, kemudian daya listrik panel surya semakin berkurang mulai pukul 12:00 WIB hingga 16:00 WIB. Jadi perubahan kuat pencahayaan secara langsung dapat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya tetapi sebaliknya perubahan pada suhu lingkungan secara tidak langsung mempengaruhi daya listrik panel surya.

Data pengujian pada Gambar 10 menunjukkan bahwa pada pukul 07:00 WIB tidak terjadi perbedaan yang signifikan mengenai daya yang dihasilkan kedua panel surya dan mulai 07:30 WIB hingga pukul 10:30 WIB mulai terlihat perbedaan daya listrik yang dihasilkan. Kembali pada pukul 12:00 WIB kedua panel surya menghasilkan daya listrik yang sama, yaitu berkisar pada nilai daya maksimum, yaitu 9 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa pada pukul 12:00 WIB posisi kedua panel surya adalah sama-sama menghadap posisi matahari. Gambar di atas menunjukkan hasil pengukuran total daya listrik dengan kondisi *fixed* (statis) sebesar 83,09 Watt, sedangkan pada sistem *tracking* aktif menghasilkan daya sebesar 122,97 Watt. Terdapat perbedaan sebesar 39,88 Watt dari daya yang terukur.

KESIMPULAN

Penggunaan panel surya dengan metode sistem sistem *tracking* aktif tipe *single-axis* diperoleh hasil arus yang maksimal, tegangan yang maksimal dan kuat cahaya yang maksimal, sehingga total daya listrik yang dihasilkan sebesar 122,97 Watt. Sedangkan untuk kondisi *fixed* (statis) sebesar 83,09 Watt. Terdapat perbedaan sebesar 39,88 Watt dari daya yang terukur. Adapun faktor yang memengaruhi daya yang dihasilkan pada panel surya adalah perubahan kuat pencahayaan matahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Evvy Kartini yang telah membantu dalam penulisan KTI dan saudara Gunawan Sukaca yang telah membantu dalam penelitian ini,

DAFTAR ACUAN

- Alata, Mohanad, M. A. Al-Nimr, and Yousef Qaroush. 2005. "Developing a Multipurpose Sun Tracking System using Fuzzy Control." *Energy Conversion and Management* 46 (7-8): 1229–45. doi:10.1016/j.enconman.2004.06.013.
- Amin, Nowshad, Md Anwarul Azim, and Kamaruzzaman Sopian. 2008. "Development of Cost Effective Charge Controller with Data Acquisition Options for PV Powered Sensor Nodes." In *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. doi:10.1109/PVSC.2008.4922822.
- Braun, J.E., and J.C. Mitchell. 1983. "Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces." *Solar Energy*. doi:10.1016/0038-092X(83)90046-4.
- Cid-Pastor, A., L. Martinez-Salamero, R. Leyva, J. Calvente, and R. Giral. 2011. "Design of Photovoltaic-Based Current Sources for Maximum Power Transfer by Means of Power Gytrators." *IET Power Electronics*. doi:10.1049/iet-pel.2010.0190.
- Duffie, John A., and William A. Beckman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes: Fourth Edition*. *Solar Engineering of Thermal Processes: Fourth Edition*. doi:10.1002/9781118671603.
- Eke, Rustu, and Ali Senturk. 2012. "Performance Comparison of a Double-Axis Sun Tracking versus Fixed PV System." *Solar Energy* 86(9): 2665–72. doi:10.1016/j.solener.2012.06.006.

- Huang, B. J., W. L. Ding, and Y. C. Huang. 2011. "Long-Term Field Test of Solar PV Power Generation using One-Axis 3-Position Sun Tracker." *Solar Energy* 85(9). Elsevier Ltd: 1935–44. doi:10.1016/j.solener.2011.05.001.
- Huang, Bin Juine, Yin Chen Huang, Guan Yu Chen, Po Chien Hsu, and Kang Li. 2013. "Improving Solar PV System Efficiency using One-Axis 3-Position Sun Tracking." In *Energy Procedia*, 33:280–87. doi:10.1016/j.egypro.2013.05.069.
- Jiang, Joe-air, Tsong-liang Huang, Ying-tung Hsiao, and Chia-hong Chen. 2005. "Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems." *Tamkang Journal of Science and Engineering* 8(2): 147–53. doi:10.1109/IAS.2002.1042685.
- Mudhofiroh, Novi, and M Fathuddin Noor. 2014. "Karakteristik Solar Cell 10-WP pada Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan" 4(2): 12–19.
- Puji Hartono. 2008. *Analisis Pengendali Kecepatan Motor Dc Menggunakan Metoda Logika Fuzzy*.
- Rizal, Yusie, Sunu Hasta Wibowo, and Feriyadi. 2013. "Application of Solar Position Algorithm for Sun-Tracking System." *Energy Procedia* 32. Elsevier B.V.: 160–65. doi:10.1016/j.egypro.2013.05.021.
- Sefa, Ibrahim, Mehmet Demirtas, and Ilhami Çolak. 2009. "Application of One-Axis Sun Tracking System." *Energy Conversion and Management* 50(11): 2709–18. doi:10.1016/j.enconman.2009.06.018.
- Singh, G.K. 2013. "Solar Power Generation by PV (Photovoltaic) Technology: A Review." *Energy* 53: 1–13. doi:10.1016/j.energy.2013.02.057.
- Yilmaz, Alper, Omar Javed, and Mubarak Shah. 2006. "Object Tracking: A Survey." *ACM Computing Surveys* 38(4): 13. doi:citeulike-article-id:1008678.