

PERANCANGAN *PROTOTYPE* PENJEJAK CAHAYA MATAHARI PADA APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Hendry Eko Hardianto¹, Reza Satria Rinaldi¹
¹Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu
¹Email : hendry_eko@gmail.com

Abstract - Solar energy is one of the alternative energy sources which can be used as electrical energy. As the effect of earth rotation and revolution, it had not been optimized maximally yet. The rotation of earth causes the sun moves from east to west every day, and the revolution of earth causes the sun move from north to south every year. These phenomenons cause the different intensity of sun light in every earth surface. To optimize the sun light, the design and realization of solar tracker is very important. The solar tracker has to be able to track the position of the sun and move the solar cell to face the sun light. The solar tracker can move in two axis with moving type of rotate and tilt, so it works optimally every time. This solar tracker is designed by using photo diode as light sensor and *servo* motor as actuator. The system uses ATmega8535 as control unit which able to process signal from the sensor and resulted Pulse Width Modulation to control *servo* motor moving. The testing showed this solar tracker capable to raise the average power to 0.676 watt and the efficiency to 36,216%. The error of tracking is 9⁰ at heavy cloud.

Key Word: Light Sensor, *Servo* Motor, Solar Tracker

I. PENDAHULUAN

Energi matahari adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat di manfaatkan untuk sumber energi listrik. Sumber energi ini belum dapat di manfaatkan secara optimal. Hal ini dikarenakan pengaruh rotasi dan revolusi bumi. Pada saat bumi berevolusi, bumi juga melakukan gerak rotasi yaitu berputar pada porosnya. Salah satu gejala yang ditimbulkan saat bumi berotasi adalah peristiwa siang dan malam. Selama revolusi bumi condong atau miring dengan

arah yang sama terhadap bidang *ekliptika*, terbentuk sudut 23,5°.

Revolusi bumi salah satunya dapat mengakibatkan gerak semu tahunan matahari. Pengamatan yang dapat dilakukan adalah melihat kedudukan matahari yang seakan-akan bergerak dari katulistiwa ke 23,5°LU kembali ke katulistiwa, terus ke 23,5°LS, dan kembali lagi ke katulistiwa. Pergeseran kedudukan matahari yang demikian itu berlangsung setiap satu tahun.

Optimalisasi pemanfaatan energi matahari ini menjadi pemikiran bagi Bill Lane, Ia membuat sebuah penjejak matahari yang dapat mengikuti arah pergerakan matahari dari timur ke barat. Bill Lane menggunakan *Cadmium sulfida* (Csd) sebagai sensor pendeteksi arah datangnya cahaya matahari dan PIC16F877 sebagai mikrokontroler (Bill Lane, 2008).

Isaac Aunkust juga pernah membuat sebuah penjejak matahari yang bergerak dalam satu sumbu. Rancangan penjejak matahari buatan Isaac Aunkust ini menggunakan LDR sebagai sensor pendeteksi arah datangnya cahaya matahari dan mikrokontroler 8051 sebagai pengendali pergerakan sel surya (Isaac Aunkust, 2007).

Penjejak matahari rancangan Bill Lane dan Isaac Aunkust, pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama. Kedua penjejak matahari ini menggunakan sistem penjejukan satu sumbu. Sistem ini hanya dapat mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat yang di sebabkan oleh gerak rotasi bumi. Sensor yang di gunakan adalah foto resistor.

Untuk dapat meningkatkan efisiensi dari penjejak matahari, sistem dua sumbu dapat diaplikasikan pada penjejak matahari. Sistem dua sumbu memungkinkan penjejak

matahari dapat mengontrol posisi *azimuth* dan *latitude* dari posisi matahari. Hal ini memungkinkan penjejak matahari dapat mengikuti arah matahari secara lebih tepat sepanjang tahun.

II. TINJAUAN PUSTAKA

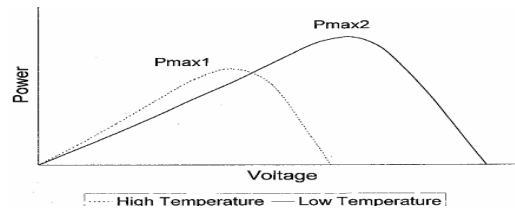
Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi yang dipancarkan matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai 0,5 miliar energi matahari atau kira-kira $1,3 \times 10^{17}$ Watt (Karmon Sigalingging, 1994).

Melihat energi yang dikeluarkan dari pancaran matahari yang begitu besar, pemanfaatan energi matahari menjadi salah satu daya tarik tersendiri untuk dilakukan. Salah satu pemanfaatan energi matahari adalah penggunaan sel surya yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Dalam proses konversi energi pada sel surya dipengaruhi banyak faktor yang dapat mengurangi optimalisasi pada proses konversi energi. Diantaranya adalah faktor orientasi terhadap matahari yang selalu berubah-ubah dapat mengurangi optimalisasi sel surya dalam proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya akan menghasilkan daya maksimal ketika posisinya saling tegak lurus dengan cahaya matahari. (Karmon Sigalingging, 1994).

Faktor dari pengoperasian sel surya agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada beberapa hal, antara lain.

a. Temperatur sel surya

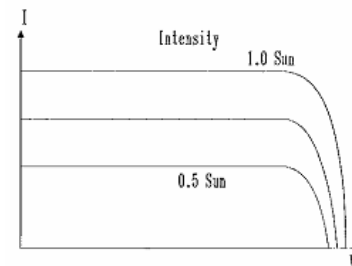
Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada Sel Surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Gambar 1 menunjukkan setiap kenaikan temperatur sel surya 10°C (dari 25°) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10°C .



Gambar 1. Karakteristik temperatur sel surya terhadap tegangan keluaran (Eduardo Lorenzo, 1994)

b. Radiasi matahari

Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi dan sangat tergantung keadaan spektrum matahari ke bumi. Pengaruh intensitas matahari memiliki pengaruh yang besar terhadap arus (I) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh intensitas matahari pada nilai arus dan tegangan (Eduardo Lorenzo, 1994)

c. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca sel surya.

d. Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi seperti berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

e. Orientasi sel surya

Orientasi dari rangkaian sel surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar sel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi dari sel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai contoh,

untuk lokasi yang terletak di belahan utara *latitude*, maka panel atau deretan sel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel sel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

f. Posisi letak sel surya terhadap matahari (*tilt angle*)

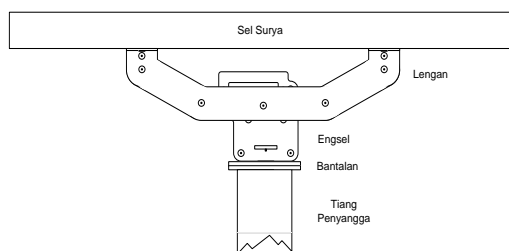
Sel surya pada *Equator* (*latitude* 0°) yang diletakkan mendatar (*tilt angle* = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan *latitude* berbeda harus dicarikan "*tilt angle*" yang berbeda. Dengan mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan sel surya secara tegak lurus akan menghasilkan energi maksimum ± 1000 W/m² atau 1 kW/m². Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurusan antara sinar matahari dengan sel surya, maka energi yang didapatkan akan tidak maksimal.

III. METODE PENELITIAN

Secara garis besar rancangan sistem penjejak matahari ini dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian, meliputi perancangan sistem mekanik, perancangan sistem elektrik dan perancangan program.

3.1. Rancangan Sistem Mekanik

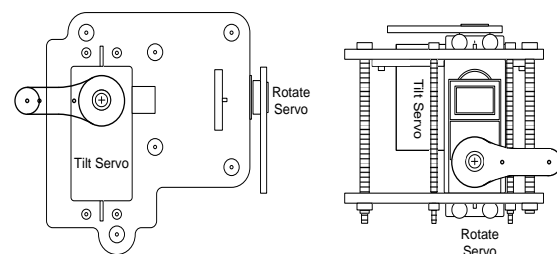
Sistem mekanik penjejak matahari ini dirancang menggunakan bahan acrylic sebagai sistem penggerak dan pipa aluminium sebagai tiang penyangganya. Sistem penggerak seperti pada gambar 3 di bagi menjadi tiga bagian, yaitu lengan sel surya, sistem engsel dan bantalan *servo*.



Gambar 3. Bentuk fisik penjejak matahari

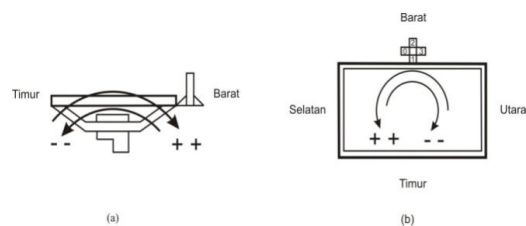
Lengan sel surya yang berhubungan langsung dengan sel surya berfungsi sebagai penyangga sel surya. Sistem engsel digunakan sebagai penghubung antara *rotate servo* dan *tilt servo*. Sedangkan bantalan *servo* berfungsi untuk membagi beban agar tidak hanya tertumpu pada poros *servo*, selain itu bantalan ini juga berfungsi sebagai penghubung sistem penggerak dengan tiang penyangga.

Bagian terpenting dalam perancangan sistem mekanik ini adalah sistem engsel, karena pada bagian ini yang berperan langsung sebagai penggerak sel surya. Sistem engsel di rancangan menggunakan dua buah motor *servo* yang dihubungkan secara tegak lurus dengan menggunakan dua lapisan bahan *acrylic* yang di hubungkan dengan menggunakan 5 buah baut. Pemasangan motor *servo* dirancang sedemikian rupa sehingga kedua buah lengan *servo* saling tegak lurus. Salah satu lengan digunakan sebagai lengan *rotate* dan lengan yang lainnya digunakan sebagai lengan *tilt*. Sistem penyambungan kedua buah *servo* ini dapat dilihat pada gambar 4.



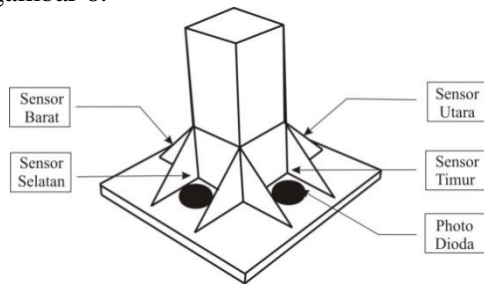
Gambar 4. Pemasangan motor *servo* pada sistem engsel

Dengan rancangan seperti pada gambar 4, maka sel surya akan dapat bergerak mengikuti arah peredaran matahari secara lebih bebas. Pergerakan utama sel surya pada sistem ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. (a). Pergerakan *tilt*. (b). Pergerakan *rotate*

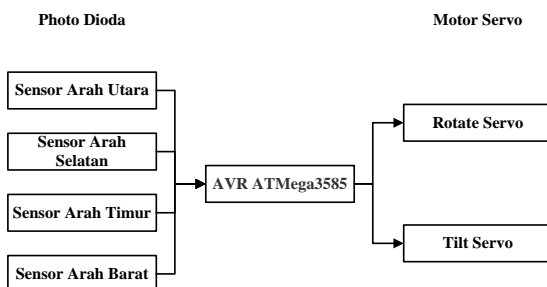
Desain berikutnya adalah sistem pemasangan sensor. Dalam rancangan ini juga digunakan bahan *acrylic*. Rancangan ini dibuat agar dapat menghasilkan bayangan pada photo dioda jika posisi matahari berada pada arah yang berlawanan dengan posisi photo dioda. Dalam sistem ini photo dioda berfungsi sebagai sensor. Ketika ada cahaya matahari yang mengenainya, maka hambatan photo dioda akan berkurang, sehingga sensor harus mencari intensitas cahaya matahari yang paling besar. Sensor bekerja secara berpasangan, dimana sensor utara dan sensor selatan harus mendapatkan intensitas matahari yang sama dan begitu juga dengan sensor timur dan sensor barat. Rancangan dari sistem pemasangan sensor ini dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Rancangan dan posisi sensor

3.2. Rancangan Sistem Elektrik

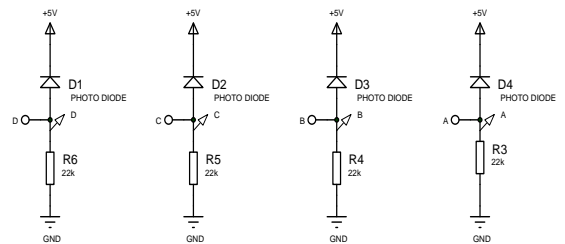
Dalam perancangan sistem penjejak matahari ini, setiap perangkat elektrik dapat di kelompokkan kedalam beberapa blok yang secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem Penejak Matahari

Perangkat keras yang dirancang terdiri dari 3 sub bagian, yaitu sensor, mikrokontroler dan motor *servo*.

Sistem sensor photo dioda berfungsi sebagai hambatan yang akan ditempatkan pada rangkaian pembagi tegangan. Hambatan photo dioda akan berpengaruh pada tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian pembagi tegangan. Tegangan keluaran diambil dari titik tengah rangkaian seri kedua resistor tersebut seperti ditunjukkan oleh gambar 8.



Gambar 8. Skema rangkaian pembagi tegangan photo dioda

Rangkaian mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8535 yang merupakan pusat pengolahan data dan pusat pengendali. Dalam rangkaian mikrokontroler ini terdapat empat buah port (A, B, C, dan D) yang dapat digunakan untuk menampung input atau output data. Port A digunakan sebagai input data, Port B.0 dan B.1 digunakan untuk mengontrol motor *servo*.

Motor *servo* yang digunakan adalah motor *servo* HXT12K standar 180° seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Motor Servo HXT12K

Motor *servo* jenis ini hanya mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai 90°, sehingga total defleksi sudut dari

kanan–tengah–kiri adalah 180° . Operasional motor *servo* dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar ± 20 ms, dengan lebar pulsa antara 0,8 ms dan 2,2 ms menyatakan akhir dari range sudut maksimum. Apabila motor *servo* diberikan pulsa sebesar 1,5 ms maka mencapai gerakan 90° . Bila diberikan pulsa kurang dari 1,5 ms maka posisi mendekati 0° dan bila diberikan pulsa lebih dari 1,5 ms maka posisi mendekati 180° .

Motor *Servo* akan bekerja secara baik jika pada bagian pin kontrolnya diberikan sinyal PWM dengan frekuensi 50 Hz. Pada saat sinyal dengan frekuensi 50 Hz tersebut dicapai pada kondisi *Ton duty cycle* 1,5 ms, maka rotor dari motor akan berhenti tepat di tengah-tengah (sudut 0° /netral).

Pada saat *Ton duty cycle* dari sinyal yang diberikan kurang dari 1,5 ms, maka rotor akan berputar ke arah kiri dengan membentuk sudut yang besarnya linier terhadap besarnya *Ton duty cycle*, dan akan bertahan di posisi tersebut. Sebaliknya, jika *Ton duty cycle* dari sinyal yang diberikan lebih dari 1,5 ms, maka rotor akan berputar ke arah kanan dengan membentuk sudut yang linier pula terhadap besarnya *Ton duty cycle*, dan bertahan di posisi tersebut.

Untuk membuat *servo* berputar ke arah kanan, pulsa high yang diberikan adalah $1500+(\text{derajat} \times 10)$. Sebaliknya jika ingin membuat *servo* berputar ke arah kiri maka pulsa high yang diberikan adalah $1500-(\text{derajat} \times 10)$ dan pemberian pulsa ini harus dilakukan berulang-ulang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian performa penjejak matahari secara keseluruhan dibagi menjadi tiga tahapan pengujian. Pengujian pertama adalah pengujian ketepatan arah sel surya, pengujian kedua adalah pengujian tegangan, arus dan daya keluaran sel surya tanpa penjejak matahari dan yang ketiga adalah pengujian tegangan, arus dan daya keluaran sel surya dengan penjejak matahari. Ketiga pengujian ini dilakukan dalam satu hari dari pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB dengan pengambilan data dilakukan setiap jam. Selanjutnya perlu di lakukan pengukuran konsumsi

daya oleh sistem penjejak untuk mengetahui efisiensi daya sistem penjejak.

4.1. Pengujian Ketepatan Arah Sel Surya

Pengujian ketepatan arah sel surya adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan penjejak matahari untuk mengarahkan sel surya terhadap matahari. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur sudut kemiringan sel surya dengan menggunakan busur dan membandingkan hasil pengukuran kemiringan sel surya tersebut dengan sudut arah datangnya cahaya matahari pada lokasi pengujian.

Pengujian ini dilakukan selama dua hari untuk menghasilkan data yang lebih valid. Pengujian dilakukan dengan meletakkan penjejak matahari di bawah sinar matahari selama dua hari dan dilakukan pengambilan data setiap satu jam sekali dimulai dari pukul 08.00 WIB hingga pukul 14.00 WIB. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil seperti terlihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian ketepatan arah sel surya (1 Oktober 2011)

Waktu Pengujian (WIB)	Kemiringan Matahari (Derajat)	Kemiringan Penjejak Matahari (Derajat)	Selisih (Derajat)	Keterangan
08.00	35	40	5	Berawan
09.00	50	53	3	Berawan
10.00	65	69	4	Berawan
11.00	79	81	2	Berawan
12.00	96	95	1	Berawan
13.00	111	109	2	Berawan
14.00	125	122	3	Berawan
15.00	140	134	6	Berawan Tebal
16.00	155	146	9	Berawan Tebal

Data pada tabel 1 diperoleh dari pengujian yang dilakukan pada hari sabtu tanggal 1 Oktober 2011. Saat pengujian dilakukan cuaca cenderung mendung dan cahaya matahari tidak bersinar secara maksimal setiap waktu. Hal ini mengakibatkan kesalahan pembacaan sensor sehingga penjejak cahaya matahari cenderung terlambat membaca arah datangnya cahaya matahari. Fenomena ini mengakibatkan selisih antara sudut datangnya cahaya matahari dan arah menghadapnya sel surya.

Tabel 2. Hasil pengujian ketepatan arah sel surya (2 Oktober 2011)

Waktu Pengujian (WIB)	Kemiringan Matahari (Derajat)	Kemiringan Penjejak Matahari (Derajat)	Selisih (Derajat)	Keterangan
08.00	35	37	2	Cerah
09.00	50	51	1	Cerah
10.00	65	65	0	Cerah
11.00	79	79	0	Cerah
12.00	95	95	0	Cerah
13.00	110	110	0	Cerah
14.00	125	124	1	Cerah
15.00	140	137	3	Berawan
16.00	155	150	5	Berawan

Tabel 2 adalah hasil pengujian ketepatan arah sel surya yang dilakukan pada hari minggu tanggal 2 Oktober 2011. Keadaan cuaca pada saat pengujian cerah, tetapi pada pengujian pukul 15.00 dan 16.00 WIB cuaca berubah menjadi mendung. Karena hal tersebut tingkat keakuraasian penjejak matahari menjadi berkurang pada sore hari. tetapi jika di tinjau secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan tingkat keakuratan yang tinggi.

Data hasil pengujian pada tabel 2. memperlihatkan tingkat keakuratan penjejak matahari dalam mendeteksi posisi matahari saat cuaca cerah. Hasil yang sangat akurat dapat di lihat pada saat pengujian pukul 10.00 WIB hingga 13.00 WIB dengan tingkat kesalahan 0°. Alat penjejak orientasi matahari dapat mendeteksi keberadaan posisi matahari terhadap alat, dengan merubah kedudukan posisi panel surya terhadap posisi matahari yang ditangkap oleh sensor. Alat sudah dapat memutuskan aturan-aturan yang telah dibuat dengan pembacaan keadaan posisi matahari sesuai dengan perangkat lunak yang ada pada sistem mikrokontroller.

1.2. Pengujian Daya Keluaran Sel Surya tanpa Penjejak Matahari

Pengujian tegangan arus dan daya keluaran sel surya tanpa penjejak matahari ini perlu dilakukan sebagai pembandingan untuk melihat pengaruh penggunaan sistem penjejak matahari terhadap keluaran sel surya. pengujian ini dilakukan dalam waktu tiga hari dengan pengambilan data dilakukan setiap satu jam dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Waktu pengambilan

data dilakukan dari tanggal 21- 23 oktober 2011.

Pengukuran nilai tegangan dilakukan dengan memberi beban resistif berupa resistor dengan nilai 2,2KΩ. Pemberian nilai resistansi yang besar ini dilakukan agar nilai tegangan yang terukur sesuai dengan nilai tegangan yang dihasilkan sel surya. Sedangkan dalam pengukuran arus sel surya diberi beban resistif dengan nilai resistansi sebesar 10Ω. Pada pengukuran arus, nilai resistansi sengaja diperkecil agar arus yang terukur sesuai dengan arus yang dihasilkan sel surya. Hasil pengukuran arus dan tegangan ini digunakan untuk menghitung daya keluaran sel surya. Dalam pengukuran ini nilai hambatan dalam alat ukur diabaikan, karena dalam pengujian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran menggunakan penjejak dan tanpa penjejak. Hasil pengukuran arus dan tegangan keluaran sel surya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran arus dan tegangan sel surya tanpa penjejak

Waktu Pengujian (WIB)	Pengujian Pertama		Pengujian Kedua		Pengujian Ketiga	
	V(volt)	I (A)	V(volt)	I (A)	V(volt)	I (A)
08.00	18,6	0,23	18,7	0,24	18,6	0,24
09.00	19	0,28	19,1	0,29	19	0,28
10.00	19,1	0,3	19,2	0,31	19,1	0,31
11.00	19,2	0,32	19,2	0,32	19,2	0,32
12.00	19,2	0,32	19,2	0,32	19,2	0,34
13.00	11,2	0,08	18,6	0,25	19	0,31
14.00	11,2	0,06	18,4	0,22	19	0,25
15.00	11	0,06	18,8	0,25	18,8	0,21
16.00	18,2	0,19	18,3	0,19	18,3	0,19

Nilai tegangan dan arus pada tabel 3 digunakan untuk menghitung daya keluaran sel surya. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \tag{1}$$

dengan: P = Daya (watt)
 V = Tegangan (volt)
 I = Arus (A)

Setelah diperoleh nilai daya hasil keluaran sel surya, seperti pada tabel 4, selanjutnya diperlukan perhitungan nilai daya rata-rata per jam.

Tabel 4. Daya sel surya tanpa penjejak.

Waktu Pengujian	Daya Pengujian Pertama	Daya Pengujian Kedua	Daya Pengujian Ketiga	Daya Rata-rata
08.00	4,278	4,488	4,464	4,410
09.00	5,320	5,539	5,320	5,393
10.00	5,730	5,952	5,921	5,868
11.00	6,144	6,144	6,144	6,144
12.00	6,144	6,144	6,528	6,272
13.00	0,896	4,650	5,890	3,812
14.00	0,672	4,048	4,750	3,157
15.00	0,660	4,700	3,948	3,103
16.00	3,458	3,477	3,477	3,471
ΣP	33,302	45,142	46,442	41,629

Daya keluaran sel surya rata-rata tanpa penjejak cahaya matahari adalah sebesar 4,6625W. Hasil pengujian ini sangat dipengaruhi oleh faktor cuaca saat dilakukan pengukuran. Pada pengujian pertama data yang diperoleh pada jam 13.00 hingga 15.00 tidaklah maksimal, hal ini dikarenakan pada saat pengujian dilakukan cuaca dalam keadaan hujan.

1.3. Pengujian Daya Keluaran Sel Surya Dengan Penjejak Matahari

Pengujian daya keluaran sel surya dengan penjejak matahari dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sistem penjejak cahaya matahari yang telah dirancang terhadap keluaran sel surya. Pengujian ini dilakukan dalam tiga hari yaitu tanggal 1, 2 dan 24 Oktober 2011.

Pengujian dilakukan dalam waktu satu hari penuh dan dilakukan pengambilan data setiap satu jam sekali. Secara keseluruhan perlakuan dalam pengujian ini sama dengan pengujian daya keluaran sel surya tanpa penjejak matahari. Hanya dalam pengujian ini digunakan sistem penjejak cahaya matahari untuk menggerakkan sel surya menghadap ke arah datangnya cahaya matahari. Dengan penggunaan sistem penggerak sel surya ini diharapkan akan dapat meningkatkan daya yang dihasilkan sel surya. Hasil pengukuran arus dan tegangan pada pengujian daya keluaran sel surya menggunakan sistem penjejak diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran arus dan tegangan sel surya dengan penjejak

Waktu Pengujian (WIB)	Pengujian Pertama		Pengujian Kedua		Pengujian Ketiga	
	V(volt)	I (A)	V(volt)	I (A)	V(volt)	I (A)
08.00	18,9	0,18	19	0,27	19	0,27
09.00	19,1	0,19	19,2	0,3	19,1	0,31
10.00	19,2	0,19	19,2	0,33	19,2	0,34
11.00	19,2	0,21	19,2	0,36	19,2	0,36
12.00	19,3	0,25	19,2	0,36	19,2	0,36
13.00	19,3	0,24	19,2	0,35	19,2	0,36
14.00	19,1	0,2	19,2	0,34	19,1	0,35
15.00	18,1	0,18	19	0,24	19,1	0,32
16.00	17,9	0,17	19	0,22	19	0,3

Data hasil pengukuran arus dan tegangan keluaran sel surya dengan penjejak matahari pada tabel 5 digunakan untuk menghitung daya keluaran sel surya dengan menggunakan persamaan (1) selanjutnya juga di hitung nilai daya rata-rata. Hasil perhitungan daya yang telah dilakukan ditunjukkan pada tabel 6.

Secara keseluruhan daya yang diperoleh dari hasil pengujian ini lebih besar jika dibandingkan dengan pengujian daya keluaran sel surya tanpa penjejak matahari. Hasil perhitungan daya rata-rata pengujian daya keluaran sel surya dengan penjejak matahari adalah sebesar 5,339W.

Tabel 6. Daya sel surya dengan penjejak.

Waktu Pengujian	Daya Pengujian Pertama	Daya Pengujian Kedua	Daya Pengujian Ketiga	Daya Rata-rata
08.00	3,402	5,130	5,130	4,554
09.00	3,629	5,760	5,921	5,103
10.00	3,648	6,336	6,528	5,504
11.00	4,032	6,912	6,912	5,952
12.00	4,825	6,912	6,912	6,216
13.00	4,632	6,720	6,912	6,088
14.00	3,820	6,528	6,685	5,678
15.00	3,258	4,560	6,112	4,643
16.00	3,043	4,180	5,700	4,308
ΣP	34,289	53,038	56,812	48,046

Pada pengujian pagi hari hingga siang hari nilai daya keluaran tanpa penjejak cenderung lebih besar, hal ini dikarenakan pada pengujian pertama menggunakan sistem penjejak cuaca cenderung mendung, sehingga daya yang dikeluarkannya kurang optimal. Jika kita tinjau pengujian pada sore hari, daya keluaran sel surya dengan penjejak matahari memiliki selisih yang sangat besar terhadap pengujian daya sel surya tanpa penjejak. Selain karena arah datangnya cahaya yang sudah tidak tepat mengenai permukaan sel surya, hal ini juga

dikarenakan faktor hujan yang turun saat dilakukan pengujian pertama. sehingga daya yang diperoleh sangat kecil.

4.4. Pengukuran Konsumsi Daya Sistem Penjejak Matahari

Pengukuran konsumsi daya sistem penjejak matahari ini dilakukan dengan mengukur nilai tegangan dan arus yang dikonsumsi oleh sistem penjejak matahari dari batere. Pengukuran konsumsi daya ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi daya sistem penjejak cahaya matahari. Hasil pengukuran yang diperoleh diperlihatkan dalam tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengukuran konsumsi daya penjejak cahaya matahari

Kemiringan Sel Surya (derajat)	Tegangan (volt)	Arus (A)	Daya (watt)
0	11,91	0,16	1,906
10	11,92	0,18	2,146
20	11,91	0,23	2,739
30	11,90	0,26	3,094
40	11,92	0,30	3,576
50	11,90	0,37	4,403
60	11,92	0,50	5,960

Jika perolehan daya yang dihasilkan sel surya dengan menggunakan sistem penjejak sebesar 5,339W, maka dapat dihitung nilai efisiensi daya sebesar.

$$\eta = \frac{P_{\text{hasil}} - P_{\text{pakai}}}{P_{\text{hasil}}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{5,339 - 3,403}{5,339} \times 100 \% = 36,261 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka efisiensi sistem penjejak matahari pada aplikasi sel surya dengan kemampuan daya 6 watt ini adalah sebesar 36,261%. Nilai efisiensi ini menunjukkan bahwa penggunaan penjejak matahari sudah memberikan keuntungan sebesar 36,216%. Tetapi walaupun daya rata-rata yang dihasilkan lebih besar daripada daya rata-rata yang dipakai, daya keluaran sel surya tidak dapat digunakan secara langsung sebagai suplai sistem penjejak. Hal ini dikarenakan pada saat-saat tertentu kebutuhan daya sistem penjejak matahari lebih besar daripada nilai daya yang dihasilkan oleh sel surya. Oleh karena itu,

sistem penjejak matahari harus menggunakan media penyimpan berupa baterai dengan kemampuan melebihi 5,960 Watt.

Daya keluaran sel surya dengan menggunakan penjejak matahari juga belumlah menguntungkan, karena konsumsi daya sistem penjejak matahari ini jauh lebih besar jika dibandingkan dengan peningkatan daya dalam penggunaan sistem penjejak cahaya matahari. Karena itu perlu dilakukan penambahan kapasitas sel surya yang digunakan.

V. KESIMPULAN

1. Penggunaan sistem penjejak cahaya matahari dapat meningkatkan perolehan daya yang dihasilkan sel surya sebesar 0,676 watt.
2. Sistem penjejak orientasi matahari dengan sensor foto dioda dan aktuator motor *servo* telah mampu mengarahkan sel surya menghadap ke arah matahari dengan kesalahan maksimum sebesar 9° pada saat awan tebal.
3. Efisiensi penggunaan penjejak matahari pada sel surya dengan daya maksimum 6 watt sebesar 36,216%.
4. Perolehan daya sel surya dengan menggunakan penjejak matahari akan lebih efektif pada sore hari.

REFERENSI

- Bill Lane, "Solar Tracker", Department of Electrical and Computer Engineering Cleveland State University Cleveland, Ohio, 2008.
- Eduardo Lorenzo, "Solar Electricity, Engineering of Photovoltaic Systems", Polytechnic University of Madrid, Madrid, 1994.
- Isaac Aunkust, "A Microcontroller-Based Solar Panel Racking System", American Society for Engineering Education, 2007.
- Karmon Sigalingging, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya", Tarsito, Bandung, 1994.