

Rancang Bangun Panel *Photovoltaic* dengan *Automatic Sun Tracking System (ASTS)* untuk Mengoptimalan Serapan Energi Matahari

Belly Yan Dewantara¹, Daeng Rahmatullah²

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan
Universitas Hang Tuah Surabaya
Email: bellyyandewantara@yahoo.com, daengrahmatullah@gmail.com

Received: Mei 2018; Accepted: Juni 2018; Published: Juli 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/je.v1i1.11>

Abstrak

Dewasa ini panel surya banyak digunakan sebagai pembangkit listrik mandiri, hal ini dapat kita lihat banyaknya pengaplikasian solar panel pada peralatan elektrik, seperti traffic light, penerangan umum dan lain-lain. Energi yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh sinar matahari yang diserap. umumnya solar panel diimplementasikan secara statis, ini menyebabkan daya serap energi matahari kurang maksimal pada pagi dan sore hari. Untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari, panel surya harus selalu menghadap tegak lurus terhadap posisi matahari. Sistem penjejak matahari otomatis diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut, sistem penjejak matahari ini menjadikan solar panel selalu tegak lurus menghadap matahari dan dapat mengikuti pergerakan matahari, sehingga serapan energi matahari lebih maksimal. Hasil dari pengujian menunjukkan penggunaan sistem tracking otomatis dapat membuat solar panel menyerap energi matahari lebih maksimal yang ditunjukkan dengan tegangan lebih stabil, dan daya lebih besar dibanding dengan solar panel statis. Sistem pelacak matahari ini mampu meningkatkan daya rata-rata hingga $\pm 39-41$ watt/hari dengan efisiensi penggunaan ASTS 81,66 % pada panel PV kapasitas 50 WP.

Kata kunci: Panel Surya, *Automatic Sun Tracking System (ASTS)*, Sensor LDR, Motor Servo, ATmega8535.

Abstract

Nowadays solar panel is widely used as an independent power plant, it can be seen the many applications of solar panels on electrical equipment, such as traffic light, general lighting, etc. The energi produced by solar panel is affected by the absorbed sunlight. generally solar panels are implemented statically, this causes the absorption of solar energi is not maximal in the morning and afternoon. To maximize the absorption of sunlight, solar panels must always be facing perpendicular to the position of the sun. Automatic solar tracking system is needed to solve these problems, It is makes solar panels always perpendicular to the sun and can follow the movement of the sun, so that the absorption of solar energi is more leverage. The results of the test show the use of automatic tracking system to get the maximum absorption of solar energi indicated by a more stable voltage output, and the power generated is greater than using a static solar panel. Automatic Sun Tracking System (ASTS) increase the average power up to $\pm 39-41$ watt / day with the efficiency of ASTS 81.66% on PV panel 50 WP.

Keywords: *Solar Panel, Automatic Sun Tracking System, LDR Sensor, Servo Motor, ATmega8535.*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan solar panel sangatlah luas di dunia, sebagai contoh: penggunaan yang paling umum pada saat ini adalah penggunaan panel surya untuk sumber listrik pada lampu lalu lintas, telephone, lampu jalan, rumah, kapal, mobil elektrik tenaga surya yang dapat beroperasi tanpa minyak, dan lain-lain.

Namun umumnya panel surya yang digunakan masih bersifat statis, panel surya dihadapkan vertical dengan matahari atau ada beberapa yang sedikit memiring, ini bertujuan untuk mendapatkan penyerapan sinar matahari yang maksimal. Sedangkan kenyataannya matahari bergerak, hal ini tentu membuat panel surya tidak dapat menyerap sinar matahari secara maksimal jika panel surya tidak tegak lurus dengan posisi matahari.

System pelacakan matahari secara otomatis adalah teknologi yang paling tepat untuk meningkatkan daya serap energi matahari dari sistem PV. Untuk mencapai tingkat akurasi pelacakan yang tinggi, beberapa pendekatan telah dilakukan oleh peneliti. Umumnya, diklasifikasikan sebagai jenis pelacakan loop terbuka, yaitu berdasarkan model matematik atau jenis pelacakan loop tertutup, yaitu menggunakan pengontrol umpan balik berbasis sensor [3-5]. Dalam pendekatan pelacakan loop terbuka, menggunakan perhitungan algoritmik atau rumus-rumus tentang pelacakan. Mengacu pada literatur [6-10], azimuth dan sudut elevasi Matahari ditentukan oleh model atau algoritma gerakan matahari pada tanggal, waktu, dan informasi geografis yang diberikan. Algoritma kontrol diolah dalam pengontrol mikroprosesor [11,12]. Dalam pendekatan pelacakan loop tertutup menggunakan berbagai perangkat sensor aktif, seperti *charge*

couple device (CCD) [13–15] atau *Light dependent resistor* (LDR) [12,16] digunakan untuk mendeteksi posisi matahari yang kemudian dijadikan umpan balik yang diteruskan ke system kontrol untuk terus menerima radiasi matahari maksimum pada panel PV.

Pendekatan pelacakan posisi matahari dapat diimplementasikan dengan menggunakan skema sumbu tunggal [12-14], dan struktur sumbu ganda untuk sistem akurasi yang lebih tinggi [12,13]. Secara umum, pelacak sumbu tunggal hanya mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat dalam sehari sementara pelacak sumbu ganda dapat mengposisikan pergeseran bagian utara dan selatan pada panel. Dalam beberapa tahun terakhir, ada peningkatan penelitian yang berkaitan dengan sistem pelacakan matahari sumbu ganda.

Namun, dalam penelitian yang ada, kebanyakan dari mereka menggunakan dua motor stepper [12,15] atau dua motor DC, sedangkan efisiensi yang didapat tidak signifikan [16,17]. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dibuat suatu system yang dapat membuat panel surya selalu tegak lurus dengan posisi matahari untuk mendapatkan penyerapan sinar matahari secara maksimal dengan menggunakan satu sumbu dengan memanfaatkan teknik bayangan dengan memberikan penyekat antara sensor sensor.

Tracking system otomatis atau *Automatic Sun Tracking System* (ASTS) ini bekerja dengan menggerakkan panel surya dengan penggerak motor stepper yang dikontrol oleh mikrokontroller yang juga terintegrasi dengan sensor LDR untuk membaca arah gerak matahari. Dengan ASTS ini maka panel PV akan selalu mengikuti posisi matahari dan mengha-

silkan serapan energi matahari yang maksimal.

II. METODE PENELITIAN

Secara garis besar perancangan panel surya dengan *Automatic Sun Tracking System* (ASTS) dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu bagian mekanik yang meliputi penyangga panel surya dengan penampang panel yang bisa digerakkan CW dan CCW agar bisa bergerak oleh motor mengikuti arah matahari, bagian elektrik pada sistem tracking meliputi sensor, kontrol dan penggerak panel.

1. Perancangan mekanik Panel PV dengan ASTS

Perancangan mekanik atau penyangga panel PV ASTS ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapat beberapa bagian pada perancangan solar panel tracking otomatis yaitu pada bagian (1) Tempat panel surya yang dapat digerakkan CW dan CCW, (2) tempat peletakan sensor LDR, (3) motor penggerak panel, (4) tiang penyangga.

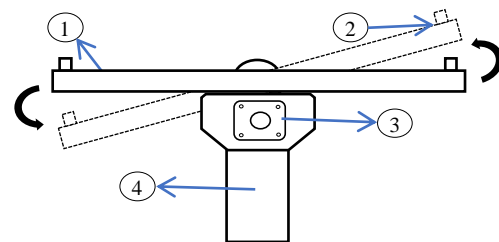
Kontrol gerak panel surya agar mengikuti posisi matahari menggunakan perangkat minimum sistem yang terintegrasi dengan sensor LDR. Sensor LDR dipasang dua buah, yaitu di sisi timur untuk menggerakkan motor secara CCW (*counter clockwise*), dan sensor LDR yang diletakkan disisi barat digunakan untuk menggerakkan motor secara CW (*clockwise*). Posisi panel surya saat mendapat sinyal dari sensor LDR pada bagian timur dan barat ditunjukkan pada Gambar 2.

2. Perancangan elektrik pada panel dengan ASTS

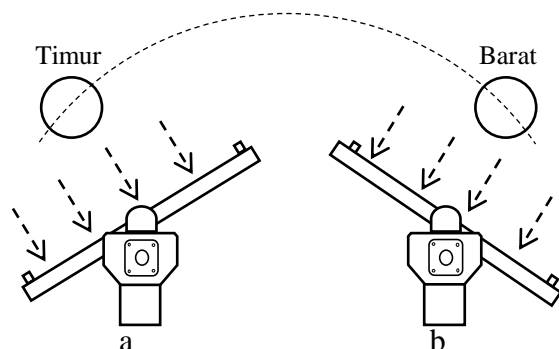
Perancangan kontrol elektrik dari system ASTS terdiri dari sensor LDR, komparator dan penguat. sistem bekerja secara *close loop*, dimana posisi panel

adalah sebagai output dan posisi matahari adalah input.

Dalam kerjanya, sensor LDR membaca intensitas sinar matahari yang nantinya digunakan sebagai sinyal input. Perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh sensor LDR yang diletakkan disisi timur dan barat akan menghasilkan nilai tegangan kesalahan yang akan digunakan sebagai sinyal umpan balik system ASTS. Tegangan kesalahan yang dihasilkan disini merupakan perbedaan antara lokasi matahari dan posisi penampang panel PV.



Gambar 1. Penyangga panel surya dengan ASTS



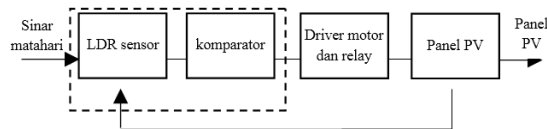
Gambar 2. (a) posisi panel surya ketika matahari berada di bagian timur, (b) posisi panel surya ketika matahari berada di bagian barat.

Selanjutnya tegangan kesalahan yang telah diperoleh akan dibandingkan dengan nilai referensi yang telah ditentukan. Nilai referensi ini merupakan nilai dimana panel surya tegak lurus menghadap matahari. Jika keluaran dari komparator lebih dari referensi, kendali motor dan relai diaktifkan sehingga dapat memutar

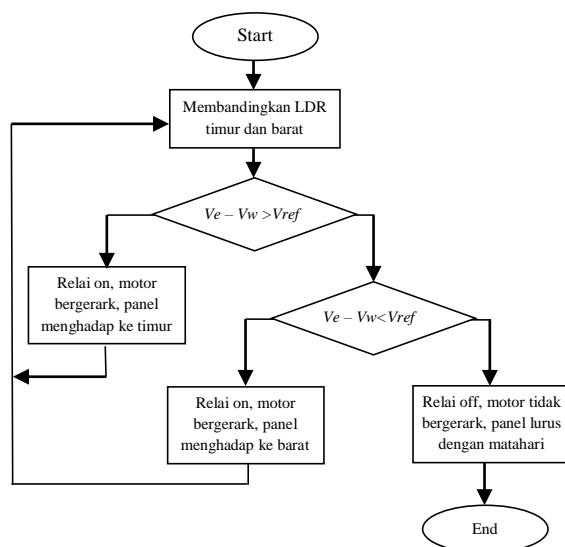
motor dan membawa panel PV menghadap Matahari.

Panel PV dan posisi matahari secara terus menerus mengirim sinyal kontrol diferensial untuk menggerakkan panel PV sampai tegangan kesalahan mendekati nilai tegangan referensi. Diagram blok dari system close loop dari kontrol panel PV dengan ASTS ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada sistem ASTS juga terdapat dua buah *limit switch* yang diletakkan di sisi timur dan barat untuk membatasi pergerakan CW dan CCW panel surya oleh motor agar tidak melebihi area kerja dari ASTS. Papansolar panel akan berhenti jika east limit switch tersentuh. Diagram alir dari kontrol gerak motor pada perancangan ASTS ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Blok Diagram ASTS

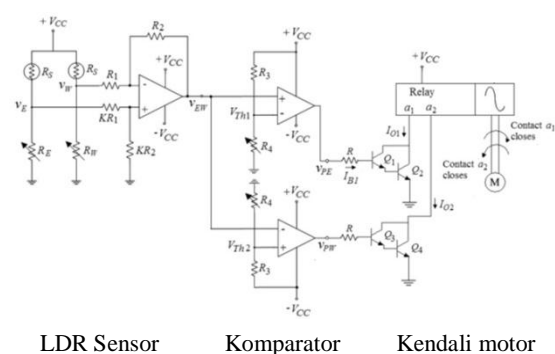


Gambar 4. Diagram alir kontrol panel PV dengan ASTS

Jika sensor LDR bagian timur (V_e) dan bagian barat (V_w) menerima intensitas cahaya, komparator membandingkan nilai

dari perbedaan dari kedua sensor tersebut jika nilai > 0 , maka motor akan bergerak secara CCW menghadapkan panel ke sisi timur, (nilai 0 merupakan nilai referensi). Jika hasil perbandingan kedua LDR oleh komparator bernilai < 0 maka motor akan bergerak secara CW menghadapkan panel ke sisi barat. Sedangkan jika nilai dari kedua sensor sama, $V_e - V_w = 0$, maka kontrol akan bekerja untuk memberhentikan gerak motor. Ini menunjukkan bahwasanya panel PV sudah menghadap tegak lurus dengan posisi matahari

Pada perancangan ASTS juga dilengkapi limit switch sebagai pembatasan gerak PV. Limit switch ini bekerja, jika LSw tertekan maka motor untuk putaran barat tidak akan bisa bergerak lagi ke arah barat sehingga papan PV akan berhenti, tapi bisa untuk putaran sebaliknya. Sedangkan bila LSe tertekan maka motor untuk putaran timur tidak akan bisa bergerak lagi ke arah timur sehingga papan PV akan berhenti, tapi bisa untuk putaran sebaliknya. Rangkaian kontrol dari panel PV dengan ASTS secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian sirkuit kontrol ASTS

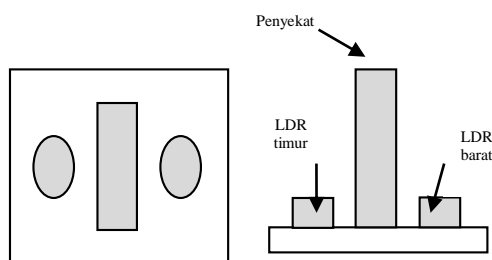
• Sensor pembaca dengan LDR

Untuk mendapatkan sinar matahari yang maksimal, perlu untuk mengetahui posisi matahari, untuk itu diperlukan sensor LDR. Sensor LDR atau photoresistor adalah resistor variabel yang tahanan listriknya tergantung pada intensitas cahaya

yang jatuh di atasnya. Resistensi LDR menurun jika intensitas cahaya yang mengenainya meningkat. Seperti yang terlihat pada bagian pertama Gambar 5, sensor LDR adalah bagian dari rangkaian pembagi tegangan untuk menghasilkan tegangan output.

• Perangkat pelacak lokasi matahari

Perangkat pelacak lokasi matahari atau *Automatic Sun Tracking System* (ASTS) bekerja dengan pendeteksian cara memberikan penghalang antara kedua sensor. Gambar 6 menunjukkan perangkat ASTS yang dirancang, yang terdiri dari sensor LDR dua buah dan silinder yang dipasang pada balok kayu. Perangkat ASTS melekat pada panel PV. LDR timur dan barat masing-masing digunakan dalam mendeteksi gerakan matahari dari timur ke barat oleh panel PV. Desain sensor cahaya didasarkan pada penggunaan bayangan. Jika panel PV tidak tegak lurus terhadap sinar matahari, bayangan silinder akan mencakup salah satu LDR dan ini menyebabkan intensitas cahaya yang berbeda akan diterima oleh perangkat ASTS.



Gambar 6. Rancangan ASTS dengan sensor LDR

• Perancangan kontrol umpan balik

Rangkaian control untuk menciptakan tegangan kesalahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa tegangan keluaran, pembagi tegangan akan lebih rendah ketika LDR yang sesuai dibayangi. Jika satu sensor terkena sinar matahari dan yang lain dibayangi,

maka penguat diferensial akan menguatkan perbedaan tegangan di antara kedua sensor. Tegangan kesalahan umpan balik dapat dinyatakan sebagai:

$$v_{EW} = -\frac{R_2}{R_1}v_W + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{K \cdot R_2}{K \cdot R_1 + K \cdot R_2}v_E$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan lagi sebagai:

$$v_{EW} = \frac{R_2}{R_1}(v_E - v_W)$$

Jika LDR disisi barat dibayangi oleh sekat, $v_E > v_W$ dan $v_{EW} > 0$.

• Rangkaian pembanding

Fungsi utama komparator adalah bertindak sebagai saklar untuk menyalakan relai dan memutar motor. Komparator pada dasarnya adalah penguat operasional (op-amp) yang dioperasikan dalam konfigurasi loop terbuka, yang mengubah sinyal analog yang berubah-waktu menjadi output biner. Seperti yang digambarkan pada bagian kedua Gambar 5, pembanding dirancang untuk membandingkan tegangan kesalahan dengan nilai ambang. Nilai ambang didefinisikan sebagai selisih antara tegangan input dan output yang sudah ditentukan (nilai ambang = 0). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, nilai ambang yang diberikan sebagai:

$$V_{ref} = \frac{R_4}{R_3 - R_4}V_{CC}$$

Keluaran dari komparator adalah V_H keadaan nilai tinggi atau V_L keadaan nilai rendah. Tegangan keluaran V_H dan V_L dapat hubungkan masing-masing ke tegangan suplai $+V_{CC}$ dan $-V_{CC}$. Keluaran komparator kemudian dinyatakan sebagai berikut:

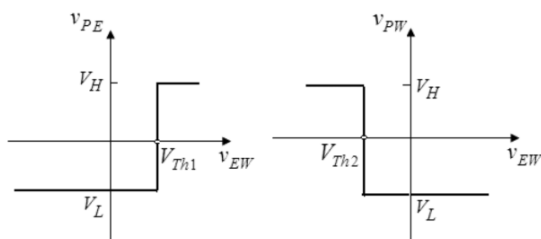
$$V_{PE} = V_H \text{ jika } V_{EW} > V_{ref} \\ = V_L \text{ jika } V_{EW} < V_{ref}$$

$$V_{PW} = V_H \text{ jika } V_{EW} > V_{ref} \\ = V_L \text{ jika } V_{EW} < V_{ref}$$

Karakteristik tegangan kirim dari komparator dengan op-amp ideal ditunjukkan pada Gambar 7. Perlu dicatat bahwa sensitivitas untuk sistem pelacakan didominasi oleh nilai ambang, yang disesuaikan oleh resistor variabel R_4 sesuai dengan akurasi pelacakan. Ketika R_4 menurun, akurasi pelacakan meningkat. Namun, respon pelacakan sistem akan menjadi semakin terganggu.

- **Kendali penggerak dengan relai**

Seperti yang terlihat pada bagian terakhir dari Gambar 5, terlihat bahwa driver motor yang dirancang dengan relai terdiri dari dua pasangan penguat yang memberikan peningkatan arus untuk menjalankan relai. Jika LDR barat tertutup bayangan sekat, akan menghasilkan tegangan kesalahan V_{WE} untuk digunakan sebagai umpan balik. Ketika $V_{EW} > V_{Th1} > V_{Th2}$, keluaran komparator V_{PE} dan V_{PW} masing-masing memiliki tegangan jenuh tinggi dan rendah.



Gambar 7. Karakteristik tegangan kirim ke komparator

Maka transistor $Q1$ dan $Q2$ akan terkonduksi dan $Q3$ dan $Q4$ akan mengalami kondisi *cutoff*. Mengacu pada Gambar 5, transistor $Q1$ dan $Q2$ beroperasi pada mode *forward-active*, Relai diaktifkan oleh arus output dan kontak *NO a1* tertutup. Dalam hal ini, motor pelacak berputar searah jarum jam dan dengan demikian panel PV bergerak ke arah timur untuk menghadapi Matahari. Dalam hal ini, pelacak matahari berusaha untuk

menyesuaikan panel PV sehingga semua tegangan yang dihasilkan oleh LDR hampir sama dan seimbang. Akibatnya, panel PV menjadi tegak lurus terhadap sinar matahari dan memiliki menghasilkan energi serapan yang maksimal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian performa kerja dari panel PV dengan ASTS dibagi menjadi tiga bagian, yaitu : 1) Pengujian akurasi sensor penjejak; 2) Pengujian tegangan, arus dan daya keluaran panel PV tanpa ASTS; 3) Pengujian tegangan, arus dan daya keluaran panel PV dengan ASTS. Ketiga pengujian ini dilakukan selama 6 jam dalam satu hari dari pukul 09.00 WIB hingga 15.00 WIB dengan pengambilan data dilakukan setiap jam. Selanjutnya perlu dilakukan pengukuran konsumsi daya oleh sistem penjejak untuk mengetahui efisiensi daya sistem penjejak. Panel PV yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kapasitas 50 Wp.

1. Pengujian Ketapatan Arah Sel Surya

Pengujian akurasi sensor pada ASTS 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 09.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil seperti terlihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Pengujian akurasi sensor terhadap posisi matahari (Hari ke-1)

Waktu uji data	Sudut miring matahari	Sudut miring panel	Selisih	Ket
09.00	52°	54°	2°	Berawan
10.00	60°	62°	2°	Berawan
11.00	69°	70°	1°	Berawan
12.00	93°	93°	0°	Cerah
13.00	109°	107°	2°	Cerah
14.00	122°	125°	3°	Berawan
15.00	138°	141°	3°	Berawan

Tabel 2. Pengujian akurasi sensor terhadap posisi matahari (Hari ke-2)

Waktu Pengambilan Data	Sudut Miring Matahari	Sudut Miring Panel	Selisih	Ket
09.00	49°	54°	5°	Mendung
10.00	58	62°	4°	Mendung
11.00	69°	74°	5°	Mendung
12.00	91°	95°	4°	Mendung
13.00	111°	108°	3°	Berawan
14.00	120°	123°	3°	Berawan
15.00	135°	138°	3°	Berawan

Tabel 1 merupakan pengambilan data pada hari pertama yang dilakukan tanggal 25 Mei 2018. Pengambilan data dilakukan di tengah lapangan depan RSGM, ini dilakukan untuk menghindari terjadinya bayangan akibat sinar matahari dari pepohonan. Pada hari pertama, cuaca relatif terang, hanya terdapat awan tipis. Didapat hasil pengukuran keakuratan pembacaan posisi matahari oleh sensor LDR hanya memiliki selisih error yang kecil.

Selisih kemiringan paling besar mencapai 3° pada pukul 11.00. Hasil yang sangat akurat dapat di lihat pada saat pengujian pukul 12.00 WIB dengan tingkat kesalahan 0°. ASTS 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.

Pada pengambilan data hari kedua, pada tanggal 25 Mei 2018, cuaca relatif mendung. Ini berdampak pada keakuratan pembacaan sensor, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Selisih pengukuran sudut posisi matahari dan sudut kemiringan panel pv mencapai hingga 5°. selisih yang cukup besar ini terjadi pada kondisi cuaca mendung berawan tebal. Simpulan dari pengambilan data hari kedua, sensor tidak bekerja baik pada cuaca yang berawan, ini dikarenakan sinar yang menyinari sensor tidak merata tiap waktunya.

2. Pengujian Nilai Tegangan, Arus dan Daya

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa ASTS yang telah dibuat. Panel PV tanpa ASTS digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui performa system. Pengujian ini dilakukan secara bersamaan selama 3 hari berturut turut dengan tempat dan waktu pengujian yang sama dari kedua panel.

Pada proses pengambilan data tegangan, arus dan daya, nilai hambatan dalam alat ukur diabaikan, karena dalam pengujian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran menggunakan penjejak dan tanpa penjejak. Untuk membuat nilai tegangan sesuai dengan spesifikasi dari panel maka untuk pengukuran tegangan diberikan beban resistif 2200 ohm sedangkan dalam pengukuran arus diberikan beban resistif yang kecil yaitu 10 ohm. Hasil dari pengukuran ditunjukkan pada Tabel 3.

Pengukuran pada hari pertama ditunjukkan pada Tabel 3. Dapat kita lihat hasil pengukuran tegangan, arus pada panel PV yang menggunakan ASTS dan tidak. Dalam pengukuran selama 6 jam, pada panel PV dengan menggunakan ASTS mempunyai performa yang lebih baik.

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan, arus, daya pada hari ke-1

Waktu uji	Tanpa ASTS			Dengan ASTS		
	V	I	P	V	I	P
09.00	18	2,2	39,6	19	2,4	45,6
10.00	18,2	2,2	40,04	19,1	2,5	47,75
11.00	18	2,4	43,2	19	2,5	47,5
12.00	18,9	2,6	49,14	19,3	2,6	50,18
13.00	18	2,6	46,8	19,2	2,6	49,92
14.00	17,6	2,4	42,24	19,3	2,5	48,25
15.00	17,6	2,3	40,48	19,3	2,4	46,32
Rata-rata	18,04	2,39	43,07	19,17	2,50	47,93
Total daya			301,50	335,52		

Nilai tegangan pada PV dengan ASTS lebih stabil, tercatat tegangan rata-rata sebesar 19,17 volt. Sedangkan nilai tegangan pada panel yang tidak menggunakan ASTS mempunyai nilai rata-rata 18,04 V. Pada pengamatan arus panel ASTS mempunyai nilai rata-rata lebih stabil antara 2,4-2,6 A sedangkan pada panel PV tanpa menggunakan ASTS terjadi penurunan arus pada saat penampang panel tidak menghadap tegak lurus dengan matahari, ini terjadi pada jam 09.00-10.00 dan 15.00. Dari hasil pengamatan tegangan dan arus maka dapat didapat pengamatan daya total yang diserap oleh PV dengan menggunakan ASTS dalam sehari (6 jam pengujian) mencapai hingga 335,52 watt, sedangkan PV tanpa ASTS hanya mampu menyerap daya 301,50 watt. Performa daya serapan meningkat 39,72 watt.

Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan, arus, daya pada hari ke-2

Waktu uji	Tanpa ASTS			Dengan ASTS		
	V	I	P	V	I	P
09.00	18	2	36	19	2,2	41,8
10.00	19	2,1	39,9	19	2,3	43,7
11.00	19,1	2,1	40,11	19,1	2,3	43,93
12.00	19,2	2,4	46,08	19,2	2,5	48
13.00	19,2	2,4	46,08	19,1	2,6	49,66
14.00	15,1	2,4	36,24	19	2,4	45,6
15.00	14,6	2,2	32,12	18,9	2,3	43,47
Rata-rata	17,74	2,23	39,50	19,04	2,37	45,17
Total daya			276,53	316,16		

Seperti halnya tabel pertama, pengukuran hari kedua ditunjukkan pada Tabel 4 membuktikan performa ASTS pada panel

PV. Pada hari kedua cuaca berawan sehingga daya serapan lebih kecil dibanding hari pertama. Namun performa ASTS tetap lebih baik dibanding panel PV tanpa ASTS. Tegangan dan arus rata-rata yang didapat dengan ASTS lebih stabil dan mampu menghasilkan daya hingga 316,16 watt, sedangkan tanpa ASTS menyerap daya 276,53 watt. Selisih daya serapan pada hari ke-2 mencapai 39,63 watt.

Tabel 5. Hasil pengukuran tegangan, arus, daya pada hari ke-3

Waktu uji	Tanpa ASTS			Dengan ASTS		
	V	I	P	V	I	P
09.00	17,8	2,2	39,16	19,3	2,5	48,25
10.00	18	2,3	41,40	19	2,5	47,50
11.00	18,7	2,3	43,01	19,1	2,6	49,66
12.00	18,5	2,5	46,25	19,2	2,6	49,92
13.00	18,6	2,5	46,50	19,3	2,5	48,25
14.00	17,8	2,4	42,72	19	2,6	49,40
15.00	17,2	2,3	39,56	19,1	2,5	47,75
Rata-rata	18,09	2,36	42,66	19,14	2,54	48,68
Total daya			298,60	340,73		

Percobaan ketiga juga mendapatkan hasil yang sama dimana nilai tegangan, arus dan daya panel PV dengan ASTS lebih stabil. Daya serapan pada hari ketiga mencapai 340,73 watt dengan ASTS dan 298,60 tanpa ASTS. Selisih daya serapan selama 6 jam hingga 42,13 watt.

Dapat disimpulkan daya yang diperoleh dari hasil pengujian ini lebih besar dengan menggunakan ASTS jika dibandingkan dengan pengujian panel PV tanpa ASTS. Performa ASTS juga sangat berpengaruh pada kestabilan tegangan dan arus, sedangkan pada panel PV tanpa ASTS tegangan dan arus relatif menurun pada pagi dan sore hari, hal ini dikarenakan penampang panel tidak menghadap tegak lurus dengan matahari sehingga panel tidak menyerap rata sinar matahari.

3. Pengukuran Konsumsi Daya ASTS

Untuk melihat efisiensi dari penggunaan ASTS pada panel PV maka di-

perlu pengukuran konsumsi daya ASTS. Pengukuran konsumsi ini dilakukan dengan mengukur daya yang dikonsumsi oleh ASTS dari baterai. Hasil pengukuran yang diperoleh diperlihatkan dalam tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran konsumsi daya ASTS

Jam ke	Konsumsi daya oleh ASTS (6 jam)		
	H-1	H-2	H-3
1	1,2	1,1	1,3
2	2,3	2,4	2,4
3	3,2	3,1	3,5
4	4,8	4,5	4,8
5	6,1	5,9	6,0
6	7,4	7,2	7,4
Rata-rata konsumsi daya	7,33 watt/hari (6jam)		

Pada percobaan yang telah dilakukan selama 3 kali berturut turut, dengan menggunakan ASTS, panel pv dapat meningkatkan daya serap hingga $\pm 39-41$ watt per harinya (6 jam), jika konsumsi penggunaan ASTS selama beroperasi dalam sehari sebesar 4,64 watt, maka dapat dihitung nilai efisiensi daya sebesar.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya Hasil} - \text{Daya pakai}}{\text{Daya hasil}} \times 100\%$$

Maka didapat,

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{40 \text{ watt} - 7,33 \text{ watt}}{40 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 81,66 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa efisiensi. Panel PV dengan ASTS mampu menghasilkan efisiensi sebesar 81,66 %. Maka dengan ini, penggunaan ASTS sangat memberikan keuntungan dalam meningkatkan daya serap energy matahari. ASTS yang digunakan pada penelitian ini juga mampu diterapkan pada panel PV dengan kapasitas hingga 100 WP. Penggunaan kapasitas panel yang lebih besar dapat meningkatkan

nilai efisiensi dari penggunaan ASTS tersebut.

IV. SIMPULAN

1. Penggunaan ASTS dapat meningkatkan daya, terbukti pada penelitian ini daya serap meningkat 39-41 watt per harinya.
2. Efisiensi penggunaan penjejak matahari pada sel surya dengan daya maksimum 50 WP sebesar 81,66 %. Nilai efisiensi akan bertambah jika kapasitas panel PV lebih besar.
3. ASTS juga dapat mempertahankan tegangan dan arus lebih stabil dibanding panel PV tanpa ASTS.
4. ASTS akan lebih baik dan akurat dengan penggunaan sensor lebih banyak (penambahan pembacaan sensor di utara dan selatan), pengembangan dapat dilakukan dengan dual-axis ASTS.

V. RUJUKAN

- [1] A Ballabel, A Mahfouz, and FA Salem. 2013. *Design and Performance of Solar Tracking Photo-Voltaic System*. International Journal of Control, Automation and Systems, Vol. 1, No. 2, 2013, pp. 49-55.
- [2] Shen CL, Tsai CT. 2012. *Double-Linear Approximation Algorithm To Achieve Maximum Power Point Tracking For Photovoltaic Arrays*. *Energies*, 5, 1982-1997.
- [3] Liu KH. 2010. *Dynamic Characteristics And Graphic Monitoring Design Of Photovoltaic Energy Conversion System*. *WSEAS Trans. Syst.* 10, 239-248.
- [4] Shanmugam S, Christraj W. 2005. *The Tracking of the Sun for Solar Paraboloidal Dish Concentrator*.

- ASME Transactions, Vol. 127, February 2005, Page(s):156-160
- [5] Nayak SR, Pradhan CR. 2012. *Solar Tracking Application. IOSR J. Eng.* 2, 1278–1281.
- [6] Lee CY, Chou PC, Chiang CM, Lin CF. 2009. *Sun Tracking Systems: A review. Sensors*, 9, 3875–3890.
- [7] Rubio FR, Ortega MG, Gordillo F, Lopez-Martinez M. 2007. *Application Of New Control Strategy For Sun Tracking. Energ. Conv. Manage.* 48, 2174–2184.
- [8] Blanco-Muriel MA, Larcon-Padilla DC, Lopez-Moratall AT, Lara-Coira, M. 2001. *Computing The Solar Vector. Solar Energi*, 70, 431–441.
- [9] Chong KK, Siaw FL, Wong CW, Wong GS. 2009. *Design And Construction Of Non-Imaging Planar Concentrator For Concentrator Photovoltaic System. Renewable Energi.* 34, 1364–1370.
- [10] Grena R. 2008. *An Algorithm For The Computation Of The Solar Position. Solar Energi.* 82, 462 – 470.
- [11] Reda I, Andreas A. 2004. *Solar Position Algorithm For Solar Radiation Applications. Solar Energi.* 76, 577–589.
- [12] Sproul AB. 2007. *Derivation Of The Solar Geometric Relationships Using Vector Analysis. Renewable Energi.* 32, 1187–1205.
- [13] Abdallah S, Nijmeh S. 2004. *Two Axes Sun Tracking System With PLC Control. Energ. Conv. Manage.* 45, 1931–1939.
- [14] Saravanan C, Panneerselvam MA, Christopher IW. 2011. *A Novel Low Cost Automatic Solar Tracking System. Int. J. Comput. Appl.* 31, 62–67.
- [15] Arbab H, Jazi B, Rezagholizadeh M. 2009. *A Computer Tracking System Of Solar Dish With Two-Axis Degree Freedoms Based On Picture Processing Of Bar Shadow. Renewable Energi.* 34, 1114–1118.
- [16] Arturo MM, Alejandro GP. 2010. *High-Precision Solar Tracking System. Proceedings of the World Congress on Engineering, London, UK, 30 June–2 July 2010; pp. 844–846.*
- [17] Zahedi A. 1998. *Solar photovoltaic energy system: Design and use. The New World Publishing.*