

# RANCANG BANGUN PHOTOVOLTAIC SOLAR TRACKER DENGAN REFLEKTOR CERMIN DATAR BERBASIS MIKROKONTROLER

Eka Prasetyono<sup>1</sup>, Novie Ayub Windarko<sup>2</sup>, Luluk Badriyah<sup>3</sup>

Departemen Teknik Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
*eka@pens.ac.id<sup>1</sup>, ayub@pens.ac.id<sup>2</sup>, luluk@staff.pens.ac.id<sup>3</sup>*

## Abstrak

Energi listrik yang mampu dibangkitkan oleh photovoltaic (PV) sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti intensitas iradiasi matahari, suhu lingkungan dan orientasi sudut kemiringan dari pemasangan PV. Intensitas iradiasi matahari di permukaan bumi selalu berubah-ubah nilainya seiring dengan pergerakan matahari di langit mulai matahari terbit sampai terbenam. Pada makalah ini akan dibahas PV solar tracker dengan reflektor cermin datar untuk mendapatkan intensitas iradiasi matahari yang maksimal sepanjang hari. Penggunaan reflektor dalam makalah ini bertujuan untuk meningkatkan diffuse irradiance dan memperpendek jarak tempuh pergerakan solar tracker sehingga lebih hemat energi. Solar tracker didesain bergerak otomatis mengikuti posisi matahari dengan memperbarui sudut solar tracker sesuai sun hour angle (sudut jam matahari) secara periodik 1 jam sekali. Penentuan sudut solar tracker dikontrol oleh mikrokontroler ATmega16. Hasil percobaan lapangan diperoleh daya yang mampu dihasilkan PV menggunakan solar tracker dengan reflektor cermin datar setiap jamnya mengalami kenaikan daya rata-rata sebesar 76.05% dibandingkan dengan PV terpasang statis. Secara kumulatif dalam satu hari energi didapatkan persentase kenaikan energi dapat mencapai 75.20% dibandingkan dengan PV yang dipasang secara statis. Sedangkan konsumsi energi untuk menggerakkan solar tracker memerlukan energi kurang dari 0.15% dari total energi yang mampu dihasilkan oleh PV.

**Kata Kunci :** Photovoltaic, Solar tracker, Reflektor dan Mikrokontroler.

## Abstract

The photovoltaic PV as a renewable energy source on generating electrical energy are highly influenced by external factor such as intensity of sunlight irradiance, temperature, geographic location and tilt angle of installed PV. The intensity of solar irradiation on the surface of the earth is always changing in line with the movement of the sun in the sky start sunrise to sunset. In this paper will discuss PV solar tracker with a flat mirror reflector to obtain maximum solar irradiation intensity throughout the day. The use of reflectors on the paper aims to improve the diffuse irradiance and shorten the distance of movement of the solar tracker making it more energy efficient. Solar tracker is designed to move automatically follow the sun's position by updating solar tracker angle corresponding sun hour angle (angle of the sundial) periodically 1 hour. Determination of corner solar tracker is controlled by a microcontroller ATmega16. Results obtained from field trials showed that the power generated using solar PV tracker with a flat mirror reflector hourly power has increased on average by 76.05% compared with static mounted PV. The cumulative energy in one day increase about 75.20% compared with PV statically mounted. While the energy consumption to drive the solar tracker requires less than 0.15% from energy of the total energy produced by PV.

**Keywords :** Photovoltaic, Solar tracker, Reflector and Microcontroller.

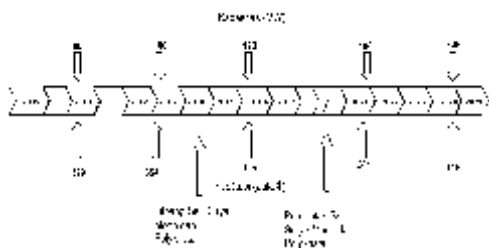
## 1. PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik di Indonesia setiap tahun terus mengalami peningkatan dengan pertumbuhan rata-rata sekitar 7% per tahun[1]. Prakiraan kebutuhan tenaga listrik nasional sesuai Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2008-2027 diperkirakan akan mencapai rata-rata sebesar 9,2 % per tahun[1].

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut yang dalam program pengembangan energi baru terbarukan maka pemerintah Indonesia melalui kementerian ESDM membentuk *road map* pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk tahun 2005-2025 dengan

kapasitas PLTS kumulatif mencapai 0.8GW [2] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Komponen utama dalam sebuah PLTS adalah solar cell atau photovoltaic (PV). Para peneliti telah banyak mengembangkan berbagai metode untuk memperoleh energi listrik semaksimal mungkin dari PV dengan metode *maximum power point tracking* (MPPT) baik itu menggunakan *software* maupun mekanik.



**Gambar 1.** Rencana pengembangan PLTS Indonesia 2005-2025 [2].

Pada beberapa penelitian menunjukkan penerapan MPPT dengan kecerdasan buatan memiliki kinerja lebih baik dalam memaksimalkan energi listrik yang dapat bangkitkan oleh PV [3-6]. Namun demikian pemasangan PV yang ditempatkan statis atau dipasang pada tempat yang tetap seperti pada tiang atau di atap bangunan, apabila orientasi kemiringan PV kurang tepat akan menyebabkan iradiasi matahari yang diterima PV tidak maksimal. Sehingga sebaik apapun metode MPPT *software* tidak akan mampu membuat PV menghasilkan energi listrik yang maksimal.

Pemasangan PV secara statis dengan orientasi kemiringan PV yang tepat masih memiliki kelemahan pada waktu pagi dan sore, dimana pada pagi dan sore PV mendapat intensitas iradiasi matahari yang kurang maksimal. Sebagai upaya untuk lebih memaksimalkan PV dalam menghasilkan energi diantaranya dapat dilakukan metode *tracker* mekanik yaitu dengan menggerakkan PV mengikuti pergerakan matahari. Sehingga diharapkan PV akan menghasilkan energi listrik lebih maksimal karena mendapatkan intensitas iradiasi matahari yang maksimal sepanjang hari baik pagi maupun sore. Selain *tracker* secara mekanik beberapa peneliti mencoba menambahkan reflektor yang berfungsi sebagai penambah intensitas iradiasi matahari karena dapat memantulkan cahaya matahari (*diffuse irradiance*) ke PV [7-9].

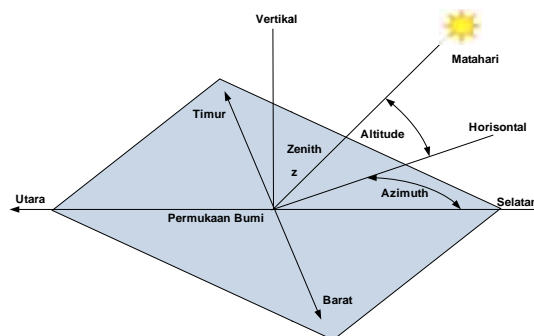
Pada artikel ini system yang diusulkan bertujuan membantu memperpanjang waktu dan meningkatkan besarnya energi listrik dari PV mulai pagi sampai sore, sehingga pengguna PV akan memperoleh energi listrik

lebih maksimal. *Solartracker* yang disain pada artikel ini memerlukan energi yang kecil dan murah dari sisi biaya.

## 2. METODE

### 2.1 Posisi Matahari

Besarnya intensitas iradiasi matahari yang diterima PV dimana PV tersebut dipasang ditentukan oleh posisi ketinggian matahari di langit terhadap PV [10-11]. Posisi ketinggian dan rotasi matahari terhadap PV di bumi dimanapun PV tersebut berada berdasarkan letak geografis (lintang-bujur) dapat dihitung secara matematis melalui persamaan *zenith*. Posisi ketinggian matahari (*zenith*) dinyatakan dalam satuan derajat, sudut *zenith* akan bernilai negatif pada pagi hari, dan akan bernilai positif pada sore hari, serta bernilai nol pada tengah hari (*noon time*). Untuk nilai sudut *zenith* kurang dari  $-90^{\circ}$  diartikan waktu tersebut matahari belum terbit dan bila nilainya lebih dari  $90^{\circ}$  diartikan matahari sudah terbenam. Ilustrasi *zenith* atau posisi matahari terhadap objek di permukaan bumi dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Ilustrasi *zenith* pada sistem koordinat bumi.

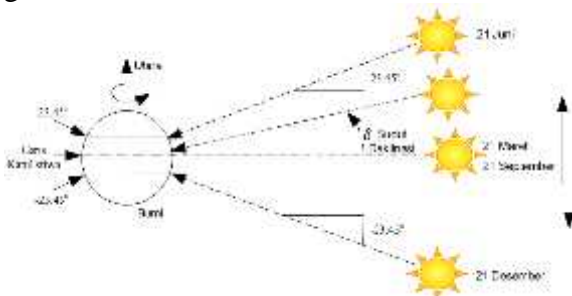
Posisi matahari untuk setiap waktu (perubahan jam atau menit) terhadap bumi pada sebuah titik yang terletak secara geografis pada lintang-bujur tertentu dapat dihitung melalui persamaan *zenith* pada persamaan 1 [10-13]. Perhitungan nilai *zenith* inilah yang akan digunakan sebagai acuan dalam menggerakkan solar tracker agar posisi PV selalu mendapat iradiasi matahari yang maksimal.

$$\cos(\theta z) = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta \tag{1}$$

merupakan notasi nilai lintang (*latitude*) secara geografis tempat dimana PV dipasang,  $\beta$  merupakan notasi sudut kemiringan PV (*tilt angle*), merupakan notasi sudut deklinasi matahari, sudut deklinasi selalu berubah atau bergeser sedikit demi sedikit setiap hari sepanjang tahun mengikuti pola rotasi bumi mengelilingi matahari[10,13] dengan rentang perubahan  $\pm 23.45^\circ$ . Sudut deklinasi ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2. Sedangkan merupakan notasi sudut jam (*hourangle*), nilai sudut jam ini adalah nilai waktu saat perhitungan, dimana nilai ini selalu berubah sesuai dengan perubahan waktu lokal atau jam tempat dimana PV tersebut dipasang, dengan kata lain waktu lokal ini ditentukan *time zone* oleh letak bujur (*longitude*) secara geografis.

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284+n}{365}\right) \tag{2}$$

Nilai besar-kecilnya sudut *deklinasi* merupakan fungsi yang dipengaruhi oleh hari ke-*n* dalam setahun, sehingga *n* bernilai antar 1 sampai 365, nilai 1 untuk tanggal 1 Januari dan nilai 365 untuk tanggal 31 Desember. Sedangkan untuk tahun kabisat dengan bulan februari 29 hari, maka diabaikan sehingga, tanggal 31 Desember tetap hari yang ke 365. Secara sederhana Sudut *deklinasi* matahari terhadap bumi dapat diilustrasikan seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Sudut deklinasi posisi matahari terhadap bumi.

Untuk (*hourangle*) yang merepresentasikan waktu local dapat dihitung menggunakan persamaan 3, dimana *hour angel* dinyatakan dalam satuan derajat[10]. Nilai *hour angel* pada waktu tengah hari (*noon time*) akan bernilai nol, kemudian pada pagi hari bernilai negatif dan pada sore hari bernilai positif. Perubahan nilai *hour angle* untuk setiap jam setara dengan bertambah  $15^\circ$ . Perhitungan *hour angle* harus tepat, bila adakesalahan pada nilai *hour angel* akan menyebabkan kesalahan nilai *zenith* yang signifikan.

$$\omega = (Solar\ time - 12) \times 15^\circ \tag{3}$$

Pada persamaan 3, *solar time* merupakan waktu lokal berdasarkan letak geografis (lintang-bujur) dan sudah terdapat faktor koreksi terhadap standar waktu *meridian*. *Solar time* [10] dapat dicari menggunakan persamaan 4 berikut.

$$Solar\ time = waktu\ lokal + \left(\frac{(LSTM - Longitude) \times 4 + EoT}{60}\right) \tag{4}$$

*Waktu lokal* merupakan waktu (jam-menit) lokal yang digunakan pada saat itu. Sedangkan *Local Standard Time Meridian* (*LSTM*) merupakan waktu standar *meridian*, dimana *LSTM* dapat dihitung menggunakan persamaan 5. Sedangkan nilai 4' (empat menit) merupakan faktor pengali yang diperoleh dari nilai rotasi bumi setiap  $1^\circ$  (satu derajat) membutuhkan waktu empat menit. Untuk *equation time* (*EoT*) merupakan faktor koreksi waktu sesuai rotasi bumi terhadap matahari.

$$LSTM = 15^\circ \times \Delta T_{GMT} \tag{5}$$

$\Delta T_{GMT}$  pada persamaan 5 adalah *timezone* atau bisa kita kenal dengan istilah zona waktu, sedangkan nilai  $15^\circ$  setara dengan selisih satu jam zona waktu besarnya adalah  $15^\circ$ . Sedangkan (*EoT*) atau faktor koreksi waktu dapat dihitung menggunakan persamaan 6.

$$EoT = 9.87 \sin 2x - 7.53 \cos x - 1.5 \sin(x) \tag{6}$$

Dimana nilai  $x$  pada persamaan 6 dapat diperoleh dari persamaan 7 dengan nilai  $n$  merupakan hari ke- $n$  dalam setahun.

$$x = \frac{360}{365}n - 81 \tag{7}$$

Secara sederhana nilai faktor koreksi waktu dalam setahun dapat diilustrasikan pada gambar 4. Nilai koreksi waktu ini kurang lebih bergeser 30 menit dalam setahun.

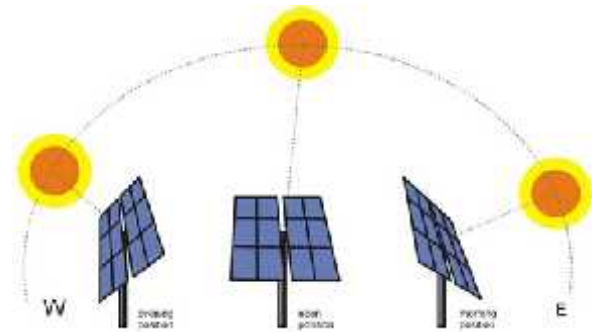


Gambar 4. Koreksi perubahan waktu selama satu tahun [14].

### 2.2 PV Solar Tracker

Ketika posisi matahari tegak lurus dengan permukaan PV, maka PV akan menerima intensitas iradiasi sinar matahari yang paling maksimal, sehingga daya keluaran PV berada dalam kondisi maksimal. Ketika matahari bergerak maka posisi PV tidak lagi tegak lurus dengan matahari, sehingga sudut antara matahari dengan PV yang mengakibatkan daya keluaran PV berkurang.

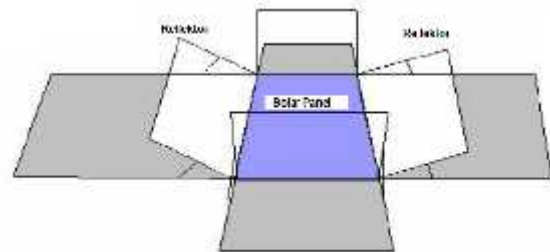
Dalam upaya mendapatkan intensitas iradiasi sinar matahari, maka para peneliti berusaha memposisikan PV selalu tegak lurus dengan matahari dengan membuat solar tracker seperti diilustrasikan pada Gambar 5. Hasil yang diperoleh dengan solar tracker dapat meningkatkan daya keluaran PV secara signifikan bila dibandingkan dengan PV yang dipasang secara statis khususnya pada pagi hari dan sore hari.



Gambar 5. Ilustrasi PV sistem dengan single axis solar tracker [9].

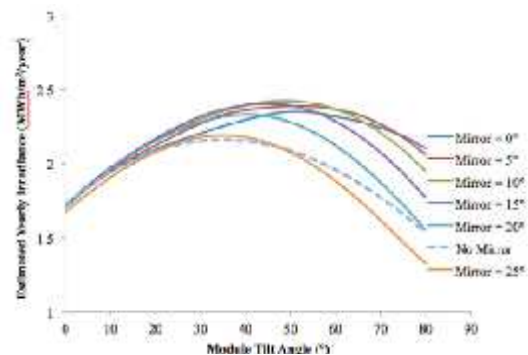
### 2.3 PV Dengan Reflector

Mengoptimalkan kinerja PV selain menggunakan solar tracker, beberapa peneliti juga telah mencoba menambahkan reflector agar intensitas iradiasi sinar matahari yang ditangkap oleh PV bisa semakin besar. Gambar 6 menunjukkan ilustrasi penggunaan reflector atau mirror statis untuk meningkatkan kinerja PV dengan sudut  $60^\circ$  [7].



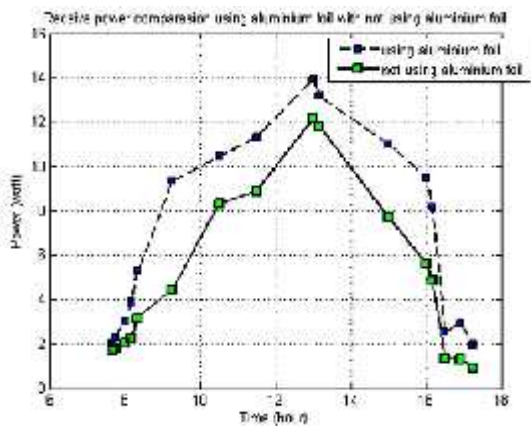
Gambar 6. Ilustrasi PV dengan reflector [7].

Penelitian lain variasi kemiringan PV dan penambahan reflector juga dapat meningkatkan Daya keluaran PV yang lebih tinggi daripada PV tanpa reflector [8].

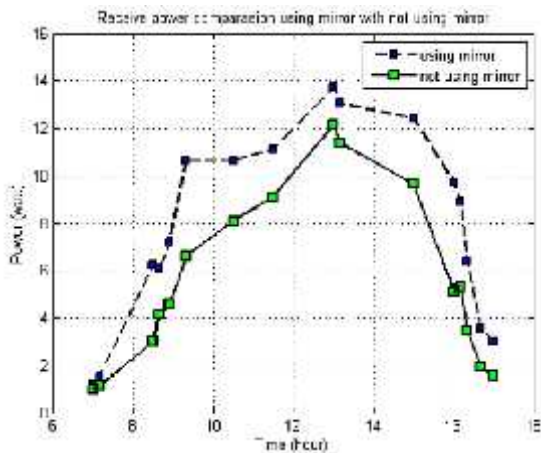


Gambar 7. Intensitas Irradiasi Sinar matahari pada PV dengan reflektor [8].

Selanjutnya pada Gambar 8 & 9 menunjukkan hasil perbandingan daya keluaran PV yang menggunakan reflector dan tanpa reflector. Pada gambar tersebut tampak jelas penambahan reflector dapat meningkatkan daya keluaran PV secara signifikan [9]. Jenis reflektor baik aluminium foil maupun cermin sama-sama memiliki kemampuan untuk meningkatkan daya keluaran PV.



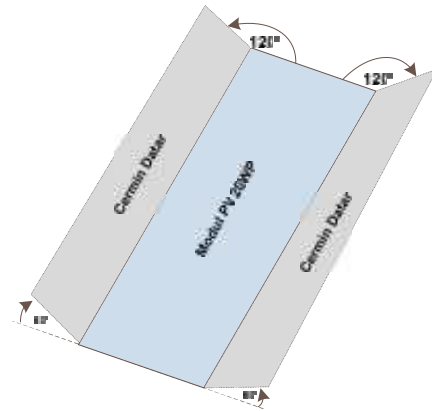
Gambar 8. Perbandingan daya keluaran PV yang menggunakan reflector aluminium foil dan tanpa reflector [9].



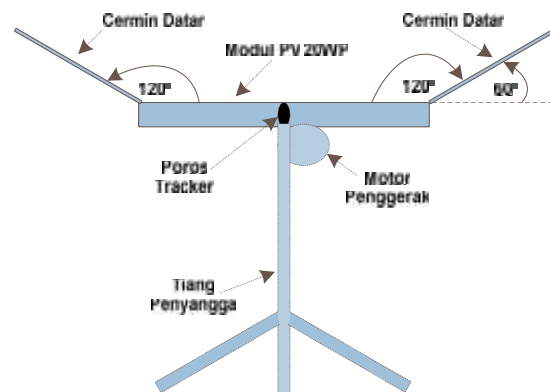
Gambar 9. Perbandingan daya keluaran PV yang menggunakan reflector cermin dan tanpa reflector [9].

PV yang digunakan pada makalah ini dilengkapi dengan mekanik *single axis tracker* (*solar tracker* 1 arah) untuk dapat bergerak mengikuti posisi pergerakan matahari. Sketsa mekanik yang digunakan pada makalah ini seperti pada gambar 10 dan gambar 11. Selain dilengkapi *tracker*, pada sisi kanan-kiri

PV ditambahkan reflektor berupa cermin datar yang dipasang dengan kemiringan  $60^\circ$  terhadap permukaan PV.



Gambar 10. Sketsa penempatan reflektor (cermin datar) pada PV (tampak atas)



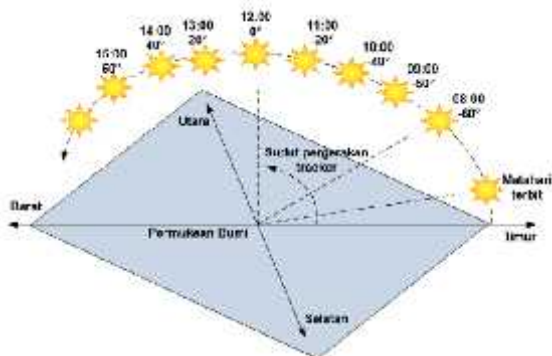
Gambar 11. Sketsa mekanis solar tracker (tampak samping)

Untuk mendapatkan intensitas radiasi matahari yang maksimal. Mekanisme kerja solar tracker didesain bekerja berdasarkan perhitungan sudut  $\theta_z$  yang dapat dihitung melalui persamaan (1). Hasil perhitungan sudut  $\theta_z$  tersebut selanjutnya dijadikan *set-point* arah *tracker* dalam menggerakkan *solar cell*.

Sudut  $\theta_z$  untuk setiap jam dari hari ke hari selalu mengalami perubahan. Hal ini karena waktu terbit dan terbenam matahari setiap hari mengalami perubahan. Untuk area Surabaya matahari terbit antara pukul 05:05 WIB sampai 05:38 WIB. Sedangkan matahari terbenam antara pukul 17:19 WIB sampai 18:05 WIB. Dari data tersebut diketahui selisih maksimal

pergeseran pergerakan posisi matahari untuk terbit 35 menit dan 46 menit untuk terbenam.

Berdasarkan selisih pergeseran pergerakan posisi matahari dan upaya untuk seminimal mungkin konsumsi energi yang digunakan untuk menggerakkan *tracker*, maka *tracker* didesain untuk memperbarui posisi sudut *tracker* setiap satu jam sekali dengan desain seperti dilustrasikan pada gambar 12 berikut ini.



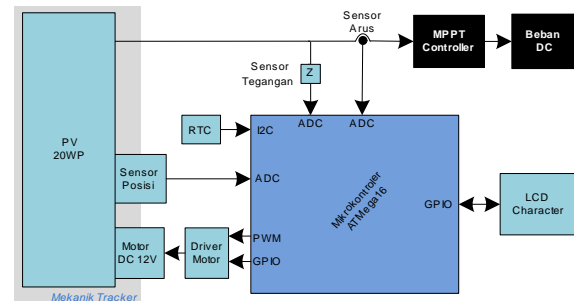
Gambar 12. desain posisi sudut *tracker* untuk perubahan tiap jam.

Dasar yang digunakan untuk menentukan sudut *tracker* mengacu pada perhitungan posisi sudut *zenith*, seperti diilustrasikan pada tabel 1. untuk mempermudah kerja mikrokontroler maka dilakukan pembulatan.

Tabel 1. Update nilai sudut *tracker* berdasarkan waktu

Waktu	$\omega$	Waktu update	Sudut <i>tracker</i> ( $^{\circ}$ )
8:00	-67.83	8:00	-60
8:30	-55.25		
9:00	-43.98	9:00	-50
9:30	-33.86		
10:00	-24.72	10:00	-40
10:30	-16.34		
11:00	-8.49	11:00	-20
11:30	-0.93		
12:00	6.59	12:00	0
12:30	14.34		
13:00	22.57	13:00	20
13:30	31.5		
14:00	41.36	14:00	40

14:30	52.33		
15:00	64.57	15:00	50



Gambar 13. Blok diagram sistem kontrol solar tracker

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada paper ini PV yang digunakan dalam pengujian adalah PV monocrystalline 20WP dengan spesifikasi seperti pada table 2.

Tabel 2. Parameter PV 20WP.

Model	SP-20-P36
ELECTRICAL DATA AT STC	
Maximum Power (Pmax)	20 Wp
Voltage at Maximum Power (V <sub>mpp</sub> )	17.4 V
Current at Maximum Power (I <sub>mpp</sub> )	1.14 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.4V

Dilihat tabel 2 tersebut maka untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal dapat dilakukan dengan memberikan beban yang tepat. Nilai resistansi beban dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{max} = 20 \text{ Wp}$$

$$I_{mpp} = 1.14 \text{ A}$$

$$R_{max} = \frac{P_{max}}{I_{mpp}^2} = \frac{20}{1.14^2} = 15.389 \quad 16$$

Pengambilan data pada paper ini dilakukan di lingkungan Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) dengan letak geografis pada  $-7.276623^{\circ}$  lintang selatan,  $112.7949201^{\circ}$  bujur timur. Gambar 14 merupakan *prototype* solar tracker dengan reflektor cermin datar yang telah dibuat untuk

pengukuran kinerja PV. Pengujian PV pada makalah ini dilakukan antarapukul 08.00-15.00, dimana pengambilan data dilakukan periodik setiap 1 jam sekali.



Gambar 13. Prototipe alat yang telah dibuat.

Pengujian pada makalah ini dilakukan dengan membandingkan daya keluaran PV yang terpasang statis, PV dengan solar tracker tanpa reflektor dan PV dengan solar tracker reflektor. Sebagai acuan data pada pengukuran disertakan pengukuran suhu lingkungan dan intensitas iradiasi sinar matahari.

Tabel 3. PV Statis tanpa reflektor

Waktu (WIB)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Tengaa n PV (Volt)	Arus PV (Amp)	Daya PV (Watt)
8:00	34	703	13.19	0.6	7.91
9:00	36	774	12.89	0.55	7.09
10:00	41	950	13.15	0.72	9.47
11:00	42	953	13.36	0.9	12.02
12:00	43	963	13.63	0.8	10.9
13:00	46	767	14.15	0.76	10.75
14:00	38	695	14.79	0.6	8.87
15:00	35	747	14.34	0.45	6.45
<b>Daya PV rata-rata (Watt)</b>					<b>9.19</b>
<b>Energi yang dihasilkan PV selama satu hari (Wh)</b>					<b>74.75</b>

Hasil pengujian PV yang terpasang statis pada table 3 menunjukkan dengan jelas ketika pagi dan sore hari daya PV jauh lebih rendah dibandingkan dengan siang hari. Namun hal yang berbeda ketika PV digerakkan oleh tracker untuk mengikuti pergerakan matahari

seperti pada tabel 4 menunjukkan daya PV pagi dan sore hari daya PV jauh lebih besar dari pada dipasang statis dengan kenaikan daya rata-rata PV sampai 60.62% dan energi listrik yang dihasilkan selama satu hari dapat meningkat 59.21%

Tabel 4. PV solar tracker tanpa reflektor

Waktu (WIB)	Tracker (°)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Tengaa n PV (Volt)	Arus PV (Amp)	Daya PV (Watt)
8:00	-60	34	703	13.24	1.04	13.77
9:00	-50	36	774	13.55	1.06	14.36
10:00	-40	41	950	13.32	1.11	14.79
11:00	-20	42	953	13.53	1.36	18.4
12:00	0	43	963	13.86	1	13.86
13:00	20	46	767	14.63	1.1	16.09
14:00	40	38	695	14.85	0.95	14.11
15:00	50	35	747	14.88	0.85	12.65
<b>Daya PV rata-rata (Watt)</b>						<b>14.75</b>
<b>Energi yang dihasilkan PV selama satu hari (Wh)</b>						<b>119.01</b>

Percobaan selanjutnya adalah PV menambahkan reflektor berupa cermin pada kedua sisi PV yang digerakkan oleh tracker. Hasil percobaan penambahan reflektor dengan ukuran setengah dari ukuran PV dapat dilihat pada tabel 5. Hasil percobaan menunjukkan daya rata-rata PV mengalami kenaikan sebesar 4.89% dibandingkan PV dengan tracker tanpa reflektor. Kemudian daya rata-rata PV dengan tracker reflektor dibandingkan dengan PV dipasang statis naik 67.99% dan energi listrik yang dihasilkan selama satu hari dapat meningkat 67.16%.

Tabel 5. PV solar tracker dengan reflektor 45cm x 15cm

Waktu (WIB)	Tracker (°)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Tengaa n PV (Volt)	Arus PV (Amp)	Daya PV (Watt)
8:00	-60	34	703	13.25	1.05	13.91
9:00	-50	36	774	13.4	1.11	14.87
10:00	-40	41	950	13.57	1.05	14.25
11:00	-20	42	953	13.65	1.49	20.34

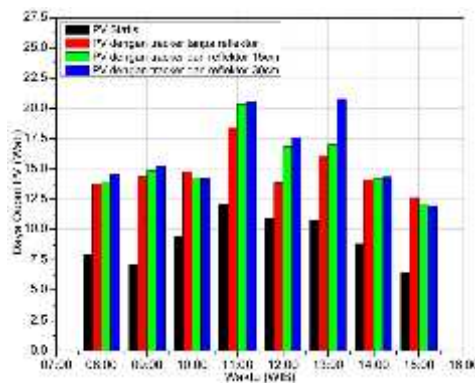
12:00	0	43	963	14.02	1.2	16.82
13:00	20	46	767	14.76	1.15	16.97
14:00	40	38	695	14.93	0.95	14.18
15:00	50	35	747	14.92	0.81	12.09
<b>Daya PV rata-rata (Watt)</b>						<b>15.43</b>
<b>Energi yang dihasilkan PV selama satu hari (Wh)</b>						<b>124.96</b>

Percobaan terakhir adalah menambahkan reflektor pada ke pada kedua sisi PV yang digerakkan oleh *tracker* dengan ukuran reflektor sama besarnya dengan ukuran PV. Hasil percobaan dengan penambahan reflektor sama dengan ukuran PV dapat dilihat pada tabel 6. Pada percobaan ini daya rata-rata PV mengalami kenaikan sebesar 4.80% dibandingkan PV dengan *tracker* reflektor ukuran sebelumnya. Sedangkan daya rata-rata PV naik 76.05% dari pada PV dipasang statis dan energi listrik yang dihasilkan selama satu hari dapat meningkat 75.21%.

**Tabel 6.** PV solar tracker dengan reflector 45cm x 30cm

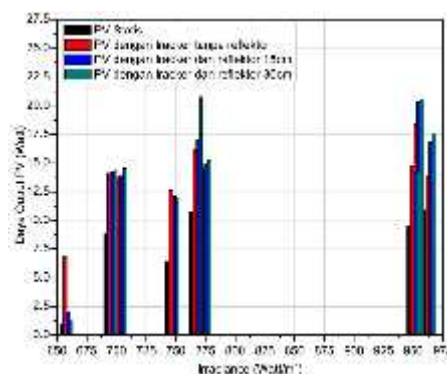
Waktu (WIB)	Tracker (°)	Suhu (°C)	Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Tegangan PV (Volt)	Arus PV (Amp)	Daya PV (Watt)
8:00	-60	34	703	13.24	1.1	14.56
9:00	-50	36	774	13.3	1.15	15.3
10:00	-40	41	950	13.52	1.05	14.2
11:00	-20	42	953	13.73	1.5	20.6
12:00	0	43	963	14.07	1.25	17.59
13:00	20	46	767	14.85	1.4	20.79
14:00	40	38	695	14.95	0.96	14.35
15:00	50	35	747	14.98	0.8	11.98
<b>Daya PV rata-rata (Watt)</b>						<b>16.17</b>
<b>Energi yang dihasilkan PV selama satu hari (Wh)</b>						<b>130.97</b>

Komparasi daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh PV setiap untuk setiap jam dapat dilihat pada gambar 14. Berdasarkan gambar tersebut terlihat jelas PV dengan *tracker* mampu menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dibanding dengan PV yang dipasang secara statis.



**Gambar 14.** Komparasi daya keluaran PV untuk tiap jam

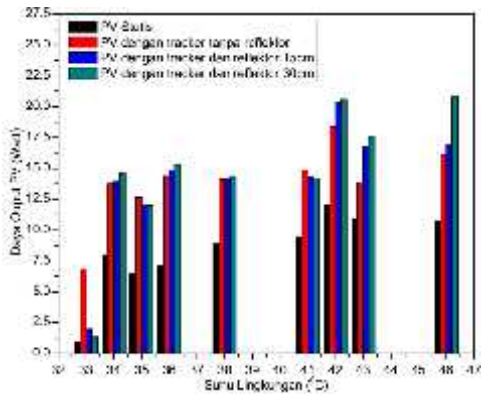
Komparasi daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh PV terhadap perubahan nilai intensitas iradiasi sinar matahari dapat dilihat pada gambar 15. Berdasarkan gambar tersebut terlihat jelas, PV dengan *tracker* yang dilengkapi reflektor dengan ukuran sama seperti ukuran PV mampu menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dibanding dengan PV yang lain.



**Gambar 15.** Komparasi daya keluaran PV untuk nilai intensitas iradiasi matahari yang berbeda

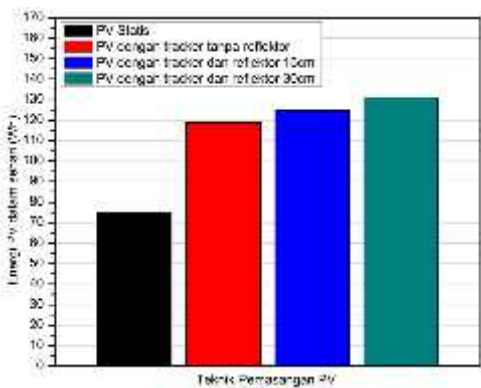
Komparasi daya keluaran yang dapat dihasilkan oleh PV terhadap perubahan nilai suhu lingkungan dapat dilihat pada gambar 16. Berdasarkan gambar tersebut terlihat jelas, PV dengan *tracker* yang dilengkapi reflektor dengan ukuran sama seperti ukuran PV mampu menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dibanding dengan PV yang lain.



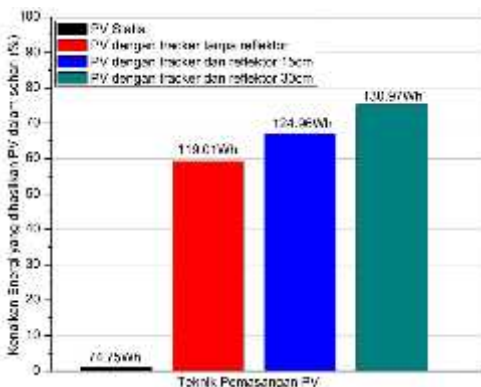


Gambar 16. Komparasi daya keluaran PV untuk nilai suhu lingkungan yang berbeda

Komparasi kenaikan energi yang dapat dihasilkan oleh PV dalam satu hari dapat dilihat pada gambar 17. Berdasarkan gambar tersebut terlihat jelas, PV dengan *tracker* yang dilengkapi reflektor dengan ukuran sama seperti ukuran PV mampu menghasilkan energi yang lebih besar dibanding dengan PV yang lain. Besarnya prosentase kenaikan energi dalam sehari dapat mencapai 75.20% seperti dapat dilihat pada Gambar 18.



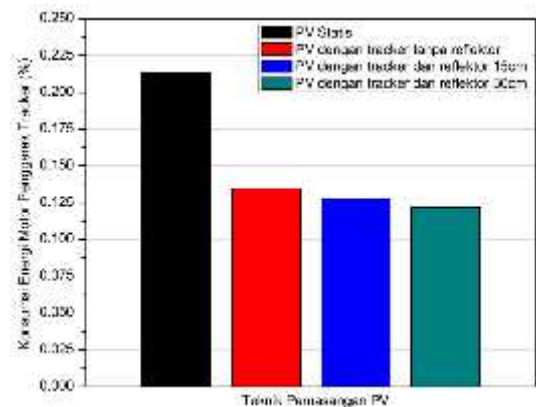
Gambar 17. Komparasi kenaikan energi yang dihasilkan PV dalam satu hari



Gambar 18. Prosentase kenaikan energi yang dihasilkan PV dalam satu hari

Kebutuhan energi yang diperlukan oleh motor penggerak *solar tracker* untuk mengubah posisi kemiringan PV pada percobaan ini adalah sebesar 0.02 Wh, dimana nilai kebutuhan energi ini dihitung dari kebutuhan operasi motor pada tegangan 12V 0.28A selama kurang lebih 3.88 detik. Dalam satu hari update posisi yang diperlukan sebanyak 8 kali perubahan, sehingga energi yang diperlukan untuk mengoperasikan *solar tracker* sebesar 0.16Wh.

Komparasi kebutuhan untuk menggerakkan tracker dengan energi yang dapat dihasilkan oleh PV dalam satu hari dapat dilihat pada gambar 19. Berdasarkan gambar tersebut terlihat jelas, kebutuhan energi untuk menggerakkan *tracker* sangat kecil kurang dari 0.15% dari total energi yang mampu dihasilkan oleh PV.



Gambar 19. Prosentase kebutuhan energi tracker terhadap energi yang dihasilkan PV dalam satu hari.

#### 4. KESIMPULAN

Penggunaan *solar tracker* dengan penambahan reflektor pada kedua sisi dapat menaikkan energi listrik yang dihasilkan oleh PV, prosentase kenaikan energi dalam sehari dapat mencapai 75.20% dibandingkan dengan PV yang dipasang secara statis dan konsumsi kebutuhan energi untuk menggerakkan *tracker* kurang dari 0.15% dari total energi yang mampu dihasilkan oleh PV.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Departemen Teknik Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang telah mendukung penelitian ini hingga selesai. Serta tidak lupa kepada penerbit jurnal inovtek yang berkenan menerima paper ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saleh, Darwin Zahedy., “Master plan pembangunan ketenagalistrikan 2010 sampai dengan 2014, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia”. Jakarta, Desember 2009.
- [2] Kusdiana, Dadan., “Kondisi riil kebutuhan energi di Indonesia dan sumber-sumber energi alternatif terbarukan”, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Bogor, 3 Desember 2008.
- [3] Dzung D. Nguyen, Brad Lehman, Sagar Kamarthi, Solar Photovoltaic Array's “Shadow Evaluation Using Neural Network with On-Site Measurement”, IEEE Canada Electrical Power Conference (2007), p. 44-49.
- [4] Yahia Baghzouz, Characteristics of PV Power Systems. UNLV Las Vegas (2008).
- [5] A. Bouilouta, A. Mellita, S.A. Kalogirou., “New MPPT method for stand-alone photovoltaic systems operating under partially shaded conditions”. Elsevier, Energy 55 (2013), p. 1172-1185.
- [6] Lian Lian Jianga, Douglas L. Maskell, Jagdish C. Patrab., “A novel ant colony optimization-based maximum power point tracking for photovoltaic systems under partially shaded conditions”, Elsevier, Energy and Buildings 58 (2013), p. 227–236.
- [7] Amalia dan Satwiko S, “Optimalisasi Output Modul Surya Polikristal Silikon dengan Cermin Datar sebagai Reflektor pada Sudut 60°”, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY, 2012. pp.159-162.
- [8] Wei-Chun Lin, Roger H. French ., “Non-Tracked Mirror-Augmented Photovoltaic Design And Performance”, Master thesis of Department of Material Science and Engineering, Western Reserve University, December, 2012
- [9] Shahjahan Ahmed, Mohammad Mahmudul Alam Mia, Sushanta Acharjee, Md. Abdul Awal Ansary, “More Efficient Use Of Photovoltaic Solar Panel Using Multiple Fixed Directed Mirrors Or Aluminum Foils Instead Of Solar Trackers In Rural Perspective Of Bangladesh.” International Journal Of Scientific & Technology Research, VOL 3, Issue 4, April 2014.
- [10] Matthew J. Reno, Clifford W. Hansen, Joshua S. Stein., “Global Horizontal Irradiance Clear Sky Models: Implementation and Analysis”. Sandia National lab, March 2012.
- [11] R. G. Allen, “Task Committee on Standardization of Reference, The ASCE standardized reference evapotranspiration equation”. Environmental, and E. Water Resources institute. Reston, Va.: American Society of Civil Engineers, 2005.
- [12] Dzung D. Nguyen, Brad Lehman, Sagar Kamarthi., “Solar Photovoltaic Array's Shadow Evaluation Using Neural Network with On-Site Measurement”, IEEE Canada Electrical Power Conference, 2007.
- [13] Ming Ding, Xinglong Wu., “Three-phase Probabilistic Load Flow Including Photovoltaic Generation in Distribution System”, International Journal of Automation and Power Engineering, 2012, p. 151-158.
- [14] Alan Doolittle, “The Sun's Position”, <http://pveducation.org/pvcdrom/2-properties-sunlight/suns-position>, Januari, 2017.
- [15] <http://www.instructables.com/id/Simple-Dual-Axis-Solar-Tracker/>. Januari, 2017.