

Pengaruh Sudut Surya terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Tipe Polycrystalline

Hendry Sakke Tira¹, Abdul Natsir², Muhammad Rezanul Iqbal¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

E-mail: hendrytira@unram.ac.id

Abstrak--Salah satu upaya yang dilakukan dalam pemanfaatan energi matahari adalah dengan menggunakan teknologi sel surya atau panel surya. Teknologi sel surya merupakan sebuah teknologi yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Penelitian ini membahas tentang simulasi sel surya dengan menggunakan Solar Emulator, sel surya jenis polycrystalline dengan daya keluaran maksimal 10 WP. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan pengaruh sudut panel surya dengan cara mengetahui tegangan dan arus optimal berdasarkan data intensitas radiasi matahari dari tanggal 17 Maret sampai 25 Maret 2016. Variasi yang digunakan adalah variasi sudut sel surya. Metode penelitian yaitu menyalakan solar emulator, mengatur sudut datang surya dan sudut elevasi. Lalu mengatur intensitas radiasi lampu halogen sebagai pengganti matahari dengan mengatur intensitasnya berdasarkan data intensitas radiasi matahari tersebut. Mengatur sudut sel surya. Tegangan dan arus yang keluar diperoleh dengan menyinari sel surya dengan bola lampu halogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut panel surya yang efisien berdasarkan data yang diperoleh adalah pada sudut panel 10° dibandingkan dengan sudut panel 20° dan 30° karena pemanfaatan intensitas radiasi terbesar biasanya efektif pada waktu 10.30-14.30 WITA.

Kata Kunci: Sel surya, solar emulator, polycrystalline, sudut surya, radiasi matahari

Abstract--One of the efforts made in the utilization of solar energy is using solar cell technology or solar panel. Solar cell technology is a technology that converts solar energy into electrical energy. This research discusses the simulation of a solar cell by using solar emulator, a type of polycrystalline solar cell with an output power up to 10 WP. The research has an objective to get the influence of the solar panel angle by knowing the voltage and current optimal based on data of solar irradiance from 17 until 25 March 2016. Variation used is solar panel angles. The research method is carried out with turned solar emulator, adjusted the solar incidence angle and elevation angles. The irradiance of halogen lamp was adjusted with a data set based on that irradiance. Output voltage and current were obtained by illuminating solar cell by light bulbs. The results showed that the angle of optimal solar panels based on the data of output power or maximum power point (Pmpp) obtained at panel angle of 10° compared than those of the panel angle of 20° and 30°. It is resulted from the utilization of the largest solar radiation intensity is usually effective at a time of 10:30 to 14:30 WITA.

Keywords: Solar cell, solar emulator, polycrystalline, angle of solar cell, solar irradiance

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan sektor industri dan pertambahan jumlah penduduk mengakibatkan permintaan energi semakin meningkat. Saat ini kebutuhan energi untuk berbagai keperluan tersebut disediakan oleh penyedia utama yaitu PLN (Perusahaan Listrik Negara). Adapun sumber energi yang digunakan untuk penyediaan listrik tersebut berasal dari bahan bakar konvensional atau bahan bakar fosil. Ketergantungan yang sangat besar pada sumber energi konvensional pada suatu saat akan memberi beban yang sangat besar. Hal ini dikarenakan jumlah energi jenis ini mengalami penyusutan yang konstan yang berdampak pada naiknya harga jenis energi ini. Menyadari akan hal tersebut maka pencarian dan pemberdayaan sumber energi alternatif sangat diperlukan untuk

menghindari kebuntuan ketersediaannya.

Indonesia sesungguhnya adalah negara yang beruntung karena memiliki hampir sebagian besar potensi sumber energi terbarukan. Dengan letaknya yang berada pada daerah ekuator/khatulistiwa (6°LU sampai 11°LS dan 95°BT sampai 141°BT) dan beriklim tropis menyebabkan potensi sumber energi surya sangat besar. Namun demikian sampai akhir 2014 pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan total sebesar 4109,09 MW (10,%). Dari daya total tersebut diantaranya bersumber dari PLT surya sebesar 8,73 MW atau sebesar 0,02%. Jika melihat angka di atas, kapasitas terpasang untuk PLTS masih sangat kecil.

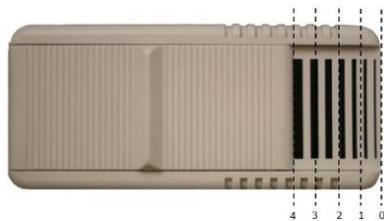
Salah satu penyebab masih terbatasnya pemanfaatan surya sebagai sumber energi adalah karena efisiensi teknologi sel surya yang rendah.

Hal ini berpengaruh pada hasil daya keluaran listrik sel surya. Untuk itu perlu upaya untuk mengoptimalkan daya keluaran listrik modul surya agar efisiensinya meningkat juga. Dengan mengubah sudut panel secara tepat, maka diprediksi jumlah intensitas cahaya yang jatuh pada area permukaan modul surya akan lebih banyak Hal ini diprediksi dapat menyebabkan daya keluaran listrik yang dihasilkan akan lebih besar. Dengan demikian efisiensi yang rendah juga dapat diakibatkan oleh posisi penempatan panel surya yang belum optimal [1]. Jadi dengan adanya peningkatan daya keluaran listrik yang dihasilkan, maka nilai efisiensinya juga akan meningkat.

Berdasarkan masalah tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan sel surya dengan cara simulasi dengan *solar emulator* berdasarkan sudut panel surya dan sudut elevasi untuk mengetahui daya keluaran yang optimal.

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah panel surya yang dilengkapi dengan lampu halogen 500 Watt yang dilengkapi dengan *dimmer* (pengatur intensitas cahaya lampu) yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Beberapa variabel data yang diambil dalam penelitian ini adalah sudut datang surya, sudut elevasi, sudut panel surya, intensitas radiasi lampu halogen dan nilai resistor sebagai variabel bebas. Sedangkan tegangan titik daya maksimum dan arus titik daya maksimum sebagai variabel terikat.



Gambar 1. Dimmer

Pengukuran nilai intensitas radiasi maksimum rata-rata lampu halogen 500 Watt menggunakan *phyranometer* dan luxmeter dengan cara mengatur sudut elevasi matahari pada 90°, sudut panel pada 0°, dan sudut matahari atau sudut datang surya pada 0°. Hal ini dimaksudkan agar lampu halogen 500 Watt tegak lurus dengan panel surya. Nilai yang diperoleh lalu dibandingkan hasilnya dengan intensitas radiasi matahari maksimum yang diperoleh pada tanggal 18 dan 19 Maret 2016. Hasil perbandingan ditampilkan pada Tabel 1. Nilai intensitas radiasi matahari diperoleh setiap 40 menit dimulai dari jam 08.00 WITA s/d 15.20 WITA. Hasil yang diperoleh lalu diinterpolasi dengan menggunakan Tabel 1 untuk

mendapatkan nilai intensitas radiasi lampu halogen.

Tabel 1. Perbandingan Antara Intensitas Matahari Dan Intensitas Lampu Pada Alat Solar Emulator

No	Radiasi Matahari (W/m ²)	Intensitas lampu (W/m ²)	Luxmeter (Lux)
1	100	25,15	1311.87
2	200	50,29	2623.74
3	300	75,44	3935.61
4	400	100,58	5247.48
5	500	125,73	6559.35
6	600	150,88	7871.22
7	700	176,03	9183.09
8	800	201,17	10494.96
9	900	226,31	11806.83
10	1000	251,46	13126.00

Adapun sudut datang surya dihitung menggunakan Persamaan 1 di bawah. Tujuan perhitungan sudut datang surya adalah untuk mengetahui seberapa besar sudut datang matahari pada tanggal tertentu [2].

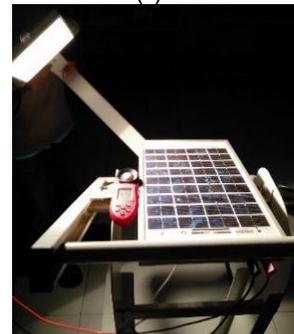
$$\cos \theta = I + II + III + IV + V \tag{1}$$

Keterangan:

- $I = \sin \delta \times \sin \varphi \times \cos \beta$
- $II = \sin \delta \times \cos \varphi \times \sin \beta \times \cos \gamma$
- $III = \cos \delta \times \cos \varphi \times \cos \beta \times \cos \omega$
- $IV = \cos \delta \times \sin \varphi \times \sin \beta \times \cos \gamma \times \cos \omega$
- $V = \cos \delta \times \sin \beta \times \sin \gamma \times \sin \omega$

dengan:

- δ : sudut deklinasi (°)
- φ : sudut latitude atau lintang (°)
- β : sudut kemiringan modul (deg, 0° adalah horisontal)
- γ : sudut azimuth modul (deg, 0° = Selatan, 90° = Barat)
- ω : sudut jam matahari (°)



Gambar 2. Solar Emulator Yang Digunakan

Solar emulator, Gambar 2, yang digunakan pada penelitian ini adalah panel surya Bp Solar SX-310J tipe polycrystalline dengan spesifikasi seperti berikut [3]:

- a. Dimensi panel = 42,49 x 27,28 x 5 cm
- b. Sel per modul = 36 sel

- c. Daya output = 10 WP
- d. *Max Power Voltage* (V_{mpp}) = 16,8 V
- e. *Max Power Current* (I_{mpp}) = 0,59 A
- f. *Open Circuit Voltage* (V_{oc}) = 21 V
- g. *Short Circuit Current* (I_{sc}) = 0,65 A
- h. *Max System Voltage* = 50 V

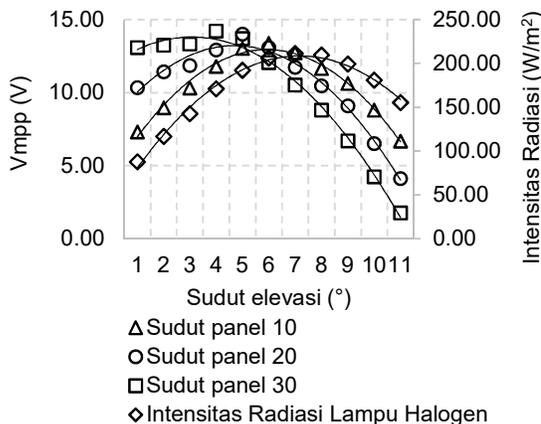
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 sampai 6 keterangan nilai pada variasi sudut elevasi (sumbu x). Variasi ini disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Keterangan Nilai Sumbu X Untuk Gambar 3 Sampai 6

No	Waktu
1	30° = 08.00-08.40 WITA
2	40° = 08.41-09.20 WITA
3	50° = 09.21-10.00 WITA
4	60° = 10.01-10.40 WITA
5	70° = 10.41-11.20 WITA
6	80° = 11.21-12.00 WITA
7	90° = 12.01-12.40 WITA
8	-80° = 12.41-13.20 WITA
9	-70° = 13.21-14.00 WITA
10	-60° = 14.01-14.40 WITA
11	-50° = 14.41-15.20 WITA

Gambar 3 dan 4 berturut-turut menunjukkan hubungan antara sudut elevasi dengan tegangan titik daya maksimum (V_{MPP}) Nilai tegangan dan arus diperoleh akibat intensitas radiasi dan resistensi sebesar 300 ohm.



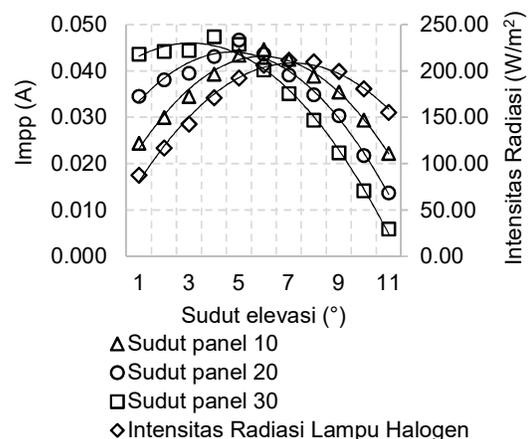
Gambar 3. Hubungan Sudut Elevasi Terhadap V_{MPP} Untuk Setiap Sudut Panel

Nilai tegangan dan arus titik daya maksimum pada setiap sudut elevasi pada awalnya mengalami kenaikan sampai nilai tertinggi kemudian mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai intensitas radiasi

lampu halogen yang diterima oleh panel surya akibat sudut elevasi yang berbeda-beda.

Nilai-nilai tegangan dan arus titik daya maksimum tertinggi yang terjadi pada masing-masing sudut panel disebabkan oleh posisi sudut lampu halogen yang tegak lurus terhadap bidang panel surya. Meskipun sudut datang surya tidak menyebabkan lampu dengan panel surya berada pada posisi tegak lurus namun sudut elevasi yang membuat panel terlihat tegak lurus dengan lampu.

Posisi tegak lurus akibat sudut elevasi pada setiap panel 10°, 20°, dan 30° berbeda-beda yaitu pada sudut panel 10° akan dikatakan tegak lurus pada sudut elevasi 80°, sudut panel 20° pada sudut elevasi 70°, dan sudut panel surya 30° pada sudut elevasi 60°. Jika melihat grafik intensitas radiasi lampu halogen, nilai intensitas radiasi tertinggi terjadi pada sudut elevasi 90°. Hal tersebut dikarenakan matahari bergerak dari terbit hingga mencapai sudut tegak lurus cahaya matahari dengan permukaan bumi pada jam 12.00 WITA (sudut elevasi 90°). Akibatnya intensitas radiasi matahari mencapai nilai tertinggi dan setelah itu mulai menurun setelah melewati jam 12.00 WITA pada saat cuaca cerah. Meskipun nilai intensitas radiasi yang diterima setiap sudut panel pada saat tegak lurus sudut elevasi lebih rendah daripada nilai intensitas radiasi tertinggi (sudut elevasi 90°), namun nilai tegangan titik daya tertinggi dan arus titik daya tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya akan lebih tinggi. Hal itu dikarenakan semakin besar sudut panel surya maka luasan yang menerima cahaya akan lebih banyak sehingga energi foton yang dimanfaatkan oleh sel surya akan semakin banyak. Intensitas radiasi memberikan pengaruh yang penting baik pada I_{MPP} maupun V_{MPP} [4].



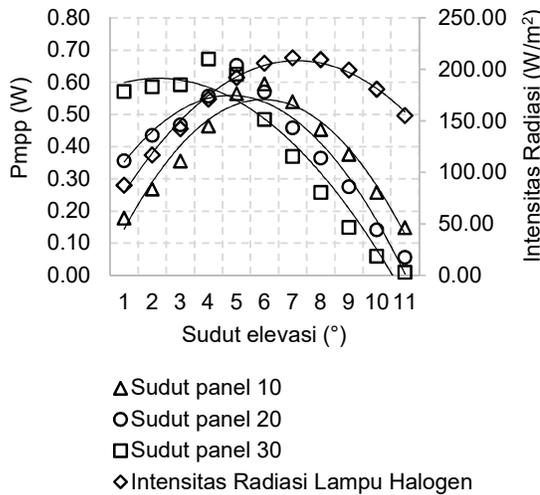
Gambar 4. Hubungan Sudut Elevasi Terhadap I_{MPP} Untuk Setiap Sudut Panel

Besar kecilnya I_{MPP} pada suatu modul surya sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain tingkat radiasi cahaya matahari, temperatur sel surya, jumlah foton, sifat optikal (penyerapan

dan pemantulan) dari sel surya dan keadaan cuaca [5].

Kecilnya nilai tegangan dan arus titik daya maksimum pada penelitian ini juga disebabkan oleh penggunaan energi cahaya lampu halogen yang berbeda dengan energi cahaya matahari karena nilai intensitas radiasi cahaya matahari lebih besar daripada intensitas radiasi cahaya lampu halogen. Resistansi sebesar 300 Ohm juga mempengaruhi besarnya nilai arus dan tegangan. Rumus dasar tegangan adalah $V = I \times R$ dan arus adalah $I = \frac{V}{R}$. Artinya tegangan berbanding lurus dengan resistansi (hambatan) sedangkan arus berbanding terbalik dengan resistansi.

Daya maksimum dipengaruhi oleh tegangan titik daya maksimum (V_{MPP}) dan arus titik daya maksimum (I_{MPP}) yang diperoleh dari hasil pengukuran. Daya maksimum yang dihasilkan panel surya pada saat diberi beban berupa resistansi sebesar 300 Ohm dapat dihasilkan dengan cara mengalikan V_{MPP} dan I_{MPP} . Hasil perhitungan daya maksimum ditunjukkan pada Gambar 5.

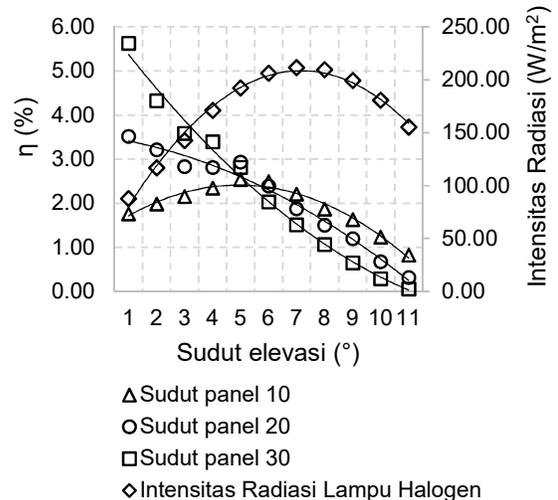


Gambar 5. Hubungan Sudut Elevasi Terhadap Daya Titik Maksimum Untuk Setiap Sudut Panel

Sama halnya dengan V_{MPP} dan I_{MPP} , nilai P_{MPP} pada setiap sudut panel surya 10°, 20°, dan 30° juga berada pada nilai tertinggi pada posisi tegak lurus antara sudut elevasi lampu halogen dengan panel surya. Kenaikan lalu penurunan nilai P_{MPP} juga sama dengan yang diamati pada nilai V_{MPP} dan I_{MPP} . Hal ini dikarenakan nilai tegangan dan arus titik daya maksimum akan semakin besar jika intensitas radiasi lampu halogen bertambah akibat sudut elevasi yang naik. Semakin tinggi V_{MPP} dan I_{MPP} yang dihasilkan oleh suatu modul surya, maka semakin tinggi pula P_{MPP} yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena nilai daya titik maksimum berbanding lurus dengan tegangan titik daya maksimum dan arus titik daya maksimum [6].

Penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan

intensitas radiasi lampu halogen akibat sudut elevasi menyebabkan daya titik maksimum yang dihasilkan oleh panel surya juga berbeda-beda pada setiap sudut panel surya. Nilai P_{MPP} pada sudut panel 30° lebih besar dibandingkan dengan sudut panel 10° dan 20°. Pada sudut elevasi 30° (08.00-08.40 WITA) nilai V_{MPP} dan I_{MPP} lebih besar dibandingkan dengan sudut panel 10° dan 20°. Namun pada sudut elevasi -50° (14.41-15-20 WITA) nilai P_{MPP} pada sudut panel 10° lebih besar dibandingkan dengan sudut panel 20° dan 30°. Jika membandingkan sudut elevasi 30° dan -50°, pada sudut elevasi 30° diibaratkan lampu halogen berada pada posisi timur sedangkan sudut elevasi -50° diibaratkan lampu halogen berada pada posisi barat. Sudut panel 10°, 20°, dan 30° memiliki nilai positif yang artinya sudut panel berada pada posisi timur. Artinya jika lampu halogen berada pada posisi timur, maka sudut panel 30° memiliki nilai yang lebih besar dari pada sudut panel 10 dan 20. Jika lampu halogen berada pada posisi barat, sudut panel 10° yang akan memiliki nilai yang lebih besar daripada sudut panel 20° dan 30°.



Gambar 6. Hubungan Sudut Elevasi Terhadap Efisiensi Untuk Setiap Sudut Panel

Hal tersebut dikarenakan jumlah energi yang dimanfaatkan oleh panel surya lebih banyak sehingga menyebabkan nilai P_{MPP} lebih besar yang mana terjadi pada saat lampu halogen berada di sisi timur [7].

Pada dasarnya pemanfaatan intensitas radiasi matahari efektif yaitu pada waktu 10.30 WITA (sudut elevasi matahari 60°) sampai 14.30 WITA (sudut elevasi matahari -60°) ketika cuaca cerah. Berdasarkan nilai daya titik maksimum (P_{MPP}) yang diperoleh dari hasil perhitungan disimpulkan bahwa penggunaan sudut panel optimum adalah pada sudut panel 10°.

Gambar 6 menampilkan data hubungan sudut elevasi terhadap efisiensi. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mencari perbedaan

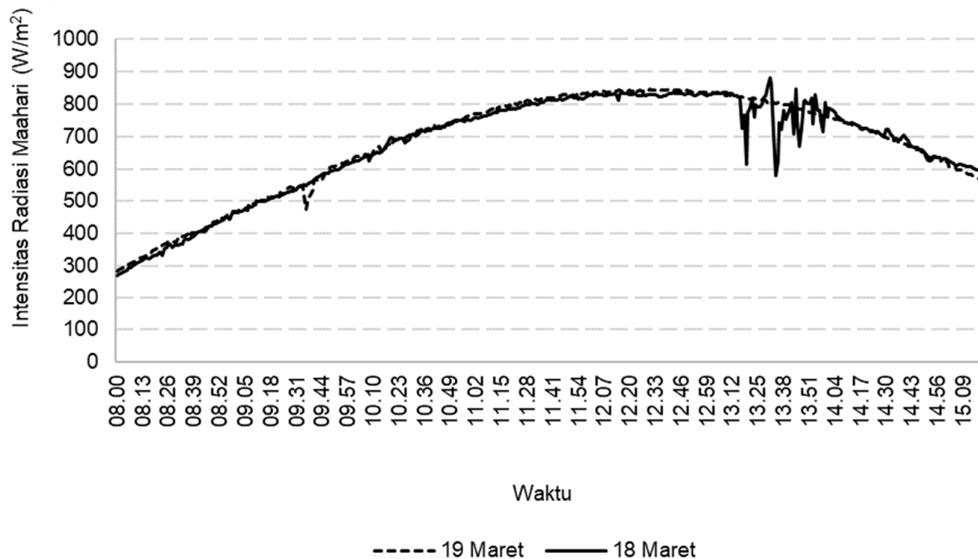
efisiensi pada setiap sudut panel 10° , 20° , dan 30° pada intensitas radiasi lampu halogen tertentu akibat sudut elevasi. Efisiensi panel surya merupakan perbandingan daya yang dibangkitkan dengan titik daya maksimum (P_{MPP}) akibat tegangan dan arus dengan daya input akibat intensitas radiasi lampu halogen. Nilai efisiensi berbanding lurus dengan titik daya maksimum dan berbanding terbalik dengan daya input.

Nilai efisiensi pada sudut panel 10° mengalami kenaikan dari sudut elevasi 30° (08.00-08.40 WITA) sampai nilai efisiensi maksimum terjadi pada sudut elevasi 70° (10.41-11.20 WITA) lalu nilai efisiensi turun sampai sudut elevasi -50° (14.41-15.20 WITA). Sedangkan pada sudut panel 20° , nilai efisiensi mengalami penurunan dari sudut elevasi 30° sampai sudut elevasi 60° (10.01-10.40 WITA) lalu mengalami kenaikan sedikit pada sudut elevasi 70° (10.41-11.20 WITA). Selanjutnya nilai mengalami penurunan kembali sampai sudut elevasi -50° . Pada sudut panel 30° efisiensi mengalami penurunan pada setiap sudut elevasi. Apabila daya keluarannya/titik daya maksimum turun maka dengan sendirinya efisiensinya juga akan

turun [8]. Namun hal tersebut hanya terjadi pada sudut panel 10° sedangkan pada sudut panel 20° dan 30° tidak terjadi. Hal tersebut dikarenakan posisi sudut panel yang diibaratkan menghadap ke arah timur sehingga nilai daya output yang dibangkitkan oleh panel surya akan semakin besar ketika sudut panel semakin besar. Apabila nilai daya outputnya membesar akibat perubahan sudut panel sedangkan nilai daya inputnya tetap maka efisiensi akan naik sehingga pada sudut 20° dan 30° memiliki kecenderungan mengalami penurunan efisiensi pada setiap sudut elevasi.

Besar kecilnya nilai efisiensi juga terjadi karena dipengaruhi oleh perubahan sudut elevasi dan besarnya intensitas yang diterima panel.

Setiap sudut elevasi mempengaruhi nilai intensitas radiasi yang dihasilkan oleh lampu halogen sehingga daya input yang dihasilkan berbeda. Demikian juga luas bidang yang terkena intensitas radiasi lampu halogen akan berbeda pada setiap sudut panel 10° , 20° , dan 30° akibat sudut elevasi.



Gambar 7. Intensitas radiasi matahari pada tanggal 18 dan 19 Maret 2016

Gambar 7 menunjukkan besarnya intensitas matahari yang diperoleh pada tanggal 18 dan 19 Maret 2016. Data digunakan sebagai perbandingan dengan data intensitas yang diperoleh dari lampu halogen. Tampak bahwa intensitas terus mengalami kenaikan seiring dengan berjalannya waktu dimana akan mencapai puncaknya sekitar pukul 12.30 dimana cahaya matahari berada pada posisi yang hampir tegak lurus dengan panel surya. Intensitas akan kembali mengalami penurunan menjelang sore hari akibat sudut matahari yang mulai membesar terhadap panel surya. Pada tanggal 18 Maret pada pukul 13.00-14.00 intensitas radiasi matahari

mengalami perubahan yang tidak teratur yang disebabkan pergerakan awan yang menghalangi pancaran sinar matahari ke arah panel surya

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Sudut elevasi, sudut panel surya, dan intensitas radiasi lampu halogen berpengaruh terhadap daya keluaran berupa tegangan dan arus pada panel surya.
2. Nilai titik daya maksimum dan arus titik daya maksimum sangat bergantung pada

- intensitas radiasi lampu halogen akibat perbedaan sudut elevasi.
3. Nilai V_{MPP} dan I_{MPP} berkorelasi langsung dengan nilai P_{MPP} yang dihasilkan.
 4. Besar kecilnya nilai efisiensi panel surya dipengaruhi oleh perubahan sudut elevasi dan besarnya intensitas yang diterima panel.
 5. Intensitas radiasi matahari efektif pada pukul 10.30 WITA (sudut elevasi 60°) sampai 14.30 WITA (sudut elevasi -60°) ketika cuaca. Sedangkan penggunaan sudut panel optimum adalah pada sudut panel 10° ketika diarahkan ke timur yang memiliki nilai P_{MPP} tertinggi.
- DAFTAR PUSTAKA**
- [1]. Febtiwiyanti AE, Sidopekso S. (2010). Studi Peningkatan Output Modul Surya Dengan Menggunakan Reflektor. *Berkala Fisika*.2:101-104.
 - [2]. Twidell J, Weir. (2006). *Renewable Energy Resources, 2nd edition, Taylor & Francis*. New York, USA.
 - [3]. Tira HS, Natsir A, Anwar MS. (2017). Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 WP Polycrystalline. *Rotasi*. 19: 237-242.
 - [4]. Paudyal BR, Shakya SR. (2016). Dust Accumulation Effects on Efficiency of Solar PV Modules for off Grid Purpose: A Case Study of Kathmandu. *Solar Energy*. 135: 103-110.
 - [5]. Stamatescu I, Fagarasan I, Stamatescu G. (2014). 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation 2013. *Procedia Engineering*. 69: 500-507.
 - [6]. Putranto T. (2016). Analisa Penggunaan Solar Reflector Dan Variasi Kecepatan Angin Terhadap Unjuk Kerja Modul Surya Fotovoltaik (PV) Polycrystalline. Tugas akhir S1, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
 - [7]. Tanesab JA. (2007), Analisis Pengaruh Peningkatan Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Modul Photovoltaic di Laboratorium Sistem Protekti Politeknik Negeri Kupang, Mitra, Tahun XIII. 3: 315-319.
 - [8]. Rizali M, Irwandy. (2015). Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Daya Pada Kondisi Eksperimental Dan Daya, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV).