

Pengaruh Sudut Kemiringan dan Orientasi *Solar Cell* Terhadap Luaran Energi Listrik Sebagai Kajian *Power Charge Station* untuk Kendaraan Alat Berat

Dian wahyu^{1*}, Yazmendra Rosa², Hanif¹, Andriyanto¹, Hendra¹

¹Prodi Teknik Alat Berat, Jurusan Teknik mesin, Politeknik Negeri Padang,

²Prodi Teknik Mesin, Jurusan Teknik mesin, Politeknik Negeri Padang,
Kampus Limau Manis Kecamatan Pauh Kota Padang

*E-mail: dianwahyuitb@gmail.com

Abstract

The development of heavy equipment technology today is increasingly focusing on energy-saving, environmentally friendly and safe technologies. Electric-powered heavy equipment vehicles are a solution to reduce carbon exhaust emissions and anticipate future fossil fuel depletion. Electric-powered heavy equipment vehicles use batteries later as a substitute for diesel engines. Presidential Regulation Number 5 of 2006 concerning the National Energy Policy encourages the public to increase the use of new and renewable energy. Based on the position, Indonesia has enormous solar energy potential. The data on the average daily amount of solar energy in Indonesia of 3-6.8 kWh /m² / day, and in Padang it ranges from 3.5-5.1 kWh / m² / day. The working ability of solar cells is greatly influenced by the direction of arrival of sunlight and the inclination of the angle. Solar tracking system if applied to a solar power plant will increase efficiency and cost. A Solution To help the community of Padang, this study was conducted to determine the optimal direction and angle of inclination in installing solar cells on fixed position. The optimal angle and direction are the angle of inclination and direction of the solar cell that provides the greatest daily production of electrical energy. In this study using experimental studies on solar panels 100 Wp. Solar cells were tested at several angles of inclination (0°,15°,30°,45°,60°,75°) and direction (10°,15°,20°) facing North Northwest. The results showed that the maximum amount of electrical energy produced by a solar panel with a size of 120 Wp was in the installation condition of 15° panel tilt angle with a direction of 10.5° facing northwest. Based on calculating the utilization of electrical energy produced by solar cells as suppliers of heavy equipment, from the calculation of the use of electrical energy, it can save operational costs by around 49%.

Keywords: fixed position; orientation; solar cell; tilt angle

Abstrak

Perkembangan teknologi alat berat saat ini semakin fokus pada teknologi hemat energi, ramah lingkungan dan aman. Kendaraan alat berat bertenaga listrik merupakan solusi untuk mengurangi emisi gas buang karbon danantisipasi habisnya bahan bakar fosil di masa depan. Kendaraan alat berat bertenaga listrik menggunakan baterai kelak sebagai pengganti mesin diesel. Perpres Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional mendorong masyarakat untuk meningkatkan penggunaan energi baru dan terbarukan. Kementerian ESDM mengeluarkan data jumlah energi surya harian rata-rata di Indonesia sebesar 3-6,8 kWh/m²/hari, dan di Padang berkisar antara 3.5-5,1 kWh/m²/hari. Kemampuan kerja dari sel surya diantaranya sangat dipengaruhi oleh arah datangnya sinar matahari dan kemiringan sudut. *Solar tracking system* jika diaplikasikan pada suatu PLTS akan menambah biaya. Untuk Membantu masyarakat kota Padang, penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menentukan arah dan sudut kemiringan yang optimal dalam memasang sel surya secara tetap. Sudut dan arah optimal adalah sudut kemiringan dan arah sel surya yang memberikan produksi energi listrik harian yang paling besar. Dalam studi ini menggunakan kajian eksperimental pada panel surya tipe *monocrystalline* 100 Wp. Sel surya diuji pada beberapa sudut kemiringan (0°,15°,30°,45°,60°,75°) dan arah (10°,15°,20°) menghadap ke Utara Barat Laut. Hasil penelitian memperlihatkan jumlah energi listrik yang maksimal dihasilkan sebuah panel surya dengan ukuran 120 Wp berada pada kondisi pemasangan 15° sudut kemiringan panel dengan arah 10,5° menghadap ke barat laut. Berdasarkan kajian perencanaan perhitungan pemanfaatan energi listrik hasil keluaran *solar cell* sebagai penyuplai kendaraan alat berat, dari perhitungan penggunaan energi listrik dapat menghemat biaya operasional sekitar 49%.

Kata kunci: fixed position; orientasi; solar cell; sudut kemiringan

1. Pendahuluan

Energi surya telah dikenal sebagai energi alam dan sumbernya tidak terbatas. Energi surya secara tidak langsung meningkatkan ketahanan energi dan mendorong pemerintah membuat kebijakan pengurangan pemakaian bahan bakar fosil[1]–[3]. Jumlah energi matahari yang diterima oleh sel surya (PV) ditentukan oleh hambatan lokal pemasangan sel surya dan dipengaruhi oleh orientasi dan sudut kemiringan sel surya[4].

Pemasangan sel surya yang tepat, berdasarkan pertimbangan arah orientasi dan sudut kemiringan, seharusnya akan meningkatkan penerimaan intensitas radiasi matahari. *Solar tracking system* (Sistem pelacakan matahari) digunakan pada pemasangan sel surya untuk lebih meningkatkan penerimaan harian intensitas radiasi matahari[4]–[8].

Beberapa peneliti melakukan kajian mengenai sel surya terkait, performa terbaik, desain, simulasi sistem sel surya berdasarkan penentuan kemiringan sudut terbaik (optimal). Sampai saat ini sangat banyak studi dan peneliti yang menghasilkan temuan performa terbaik mengenai sistem surya disegala penjuru dunia, dan ada juga yang membandingkan berdasarkan lokasi pemasangan sel surya. Prediksi penyerapan energi surya akibat pengaruh kemiringan juga telah dilakukan oleh banyak peneliti[2], [4]–[6], [9]–[17]

Pengaruh sudut kemiringan dan polusi udara terhadap jumlah energi yang dikumpulkan oleh modul fotovoltaik telah diselidiki oleh Asl-Soleimani [14] untuk Teheran, Iran. Mereka menemukan sudut kemiringan yang optimal adalah 30°, mereka juga melaporkan bahwa keluaran energi dari modul berkurang lebih dari 60% karena pengaruh polusi udara.

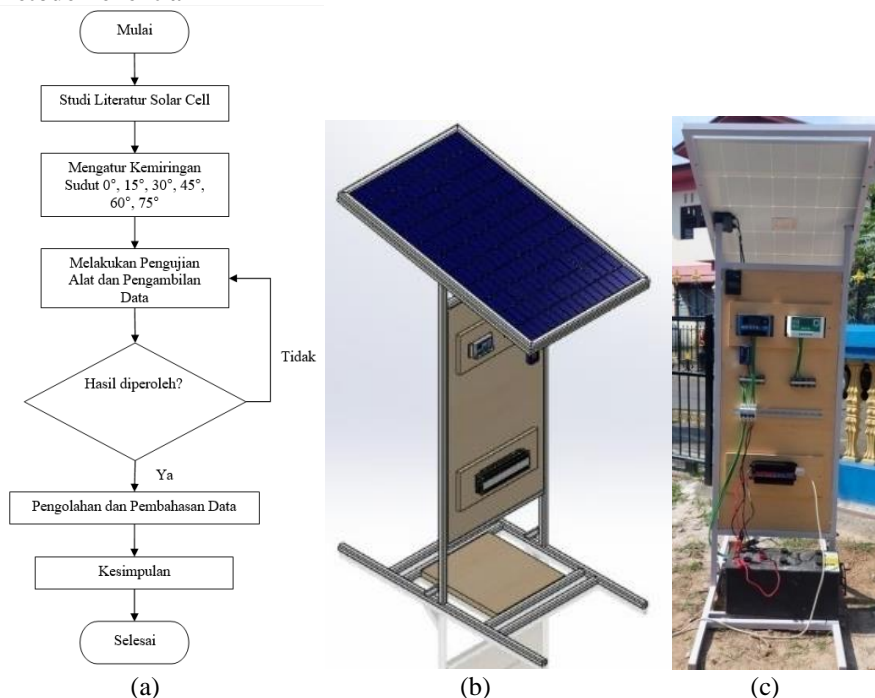
Kota Padang merupakan daerah yang dilalui oleh garis khatulistiwa dan merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi energi matahari yang cukup besar (4.8 kWh/m²). Pemanfaatan energi terbarukan (EBT) sangat meningkat di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit energi listrik sangat tepat untuk diterapkan di kota Padang, mengingat letak geografis kota padang yang dekat dengan garis equator[13].

Salah satu cara memaksimalkan penerimaan radiasi matahari oleh panel surya adalah dengan memposisikan panel pada posisi kemiringan optimal seperti yang telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya[4], [5], [7], [10]–[13], [18]–[26]. Tujuan memiringkan panel pada posisi optimal, agar permukaan panel selalu berada tepat menghadap matahari sepanjang tahun. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan memasang *solar tracker*. Penggunaan *solar tracking* dapat meningkatkan produksi energi listrik yang dihasilkan *photovoltaic*, namun membutuhkan biaya tambahan. Lokasi berpengaruh terhadap radiasi yang diterima permukaan panel, sehingga posisi optimum suatu lokasi dengan lokasi lainnya dapat berbeda. Kajian teknis terhadap sudut kemiringan optimum diberbagai tempat di seluruh dunia telah banyak dilakukan, seperti Tarek O.Kaddoura et al tahun 2016.

Di lain sisi himbauan pemerintah untuk beralih ke PLTS (pembangkit listrik tenaga surya) sangat sering diupayakan, namun penggunaan *solar tracker* pada PLTS menjadi penghalang masyarakat dalam melakukan pemasangan PLTS secara mandiri. Untuk mengatasi masalah tersebut akan disajikan teknik pemasangan PLTS tanpa menggunakan *solar tracker* namun produksi listrik tetap optimal.

Tulisan ini disajikan uji eksperimental untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan terhadap panel surya tersebut untuk memaksimalkan intensitas matahari yang diterima oleh panel surya yang dipasang pada lokasi 0°56'31.4"S 100°22'58.4"E di kota Padang. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya ini diharapkan dapat menjadi kajian sumber energi yang digunakan pada alat berat bertenaga listrik maupun kebutuhan masyarakat luas.

2. Material dan Metode Penelitian



Gambar 1. (a) Diagram alir penelitian dan (b) & (c) Perangkat penelitian

Gambar 1 (a) tahapan penelitian dan Gambar 1 (b) & (c) dapat dilihat peralatan yang terpasang yang digunakan pada saat pengujian, yang akan dibahas secara rinci pada bagian material penunjang penelitian.

2.1 Material Penunjang Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan selama penelitian guna menunjang penelitian adalah sebagai berikut:

- Panel Surya, spesifikasi yang dipakai adalah P_{max} (120 Wp), V_{mp} (17.8V) V_{oc} (21.8V), I_{sc} (7.4A), Luas panel (0.532 m^2)
- *Solar Power Meter*, Alat ini sebagai pengukur tenaga surya (Solar Power). Alat ini mampu melakukan pengukuran dalam W/m^2 atau BTU ($\text{ft}^2 \cdot \text{h}$)
- *Infrared Thermometer*, Termometer jenis ini digunakan untuk mengukur temperatur pada permukaan benda tanpa bersentuhan dengan objek tersebut sehingga lebih cepat dan aman dalam penggunaannya.
- *Watt Meter*, Untuk membantu pengukuran energy (AH), daya (W), kuat arus (A) dan voltage (V) sehingga lebih akurat dan lebih cepat dengan nilai akurasi sebesar 0,01A untuk arus dan 0,01V untuk voltage.
- *Starret Angle Finder*, Alat ini digunakan untuk menentukan sudut yang akurat. Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kemiringan permukaan pada panel surya terhadap bumi.

2.2 Perhitungan Daya Input

Untuk menghitung daya input pada panel surya tipe, didapat dengan cara menghitung luas panel dikali dengan Irradiasi atau dalam matematis ditulis sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

dimana:

- P_{in} : Daya Input (Watt)
 I_r : Irradiasi (W/m^2)
 A : Luas (m^2)

2.3 Menghitung Daya Output

Untuk menghitung daya output pada kedua jenis panel surya, terlebih dahulu menghitung *fill factor* pada panel surya. *Fill factor* adalah parameter yang menyatakan seberapa jauh $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimal $V_m \times I_m$ yang dihasilkan sel surya.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2)$$

dimana:

- V_{mp} : Tegangan Max (Volt)
 I_{mp} : Arus Max (Ampere)
 V_{oc} : Tegangan Sirkuit Terbuka (Volt)
 I_{sc} : Arus hubung singkat (Ampere)

Setelah mendapatkan nilai FF, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung daya keluaran (P_{out}).

$$P_{out} = V \times I \times FF \quad (3)$$

Karena pada penelitian ini telah menggunakan alat pengukuran presisi *Watt Meter*, maka FF telah termasuk dalam P_{out} yang terbaca di *display watt meter*.

2.4 Efisiensi Solar Cell

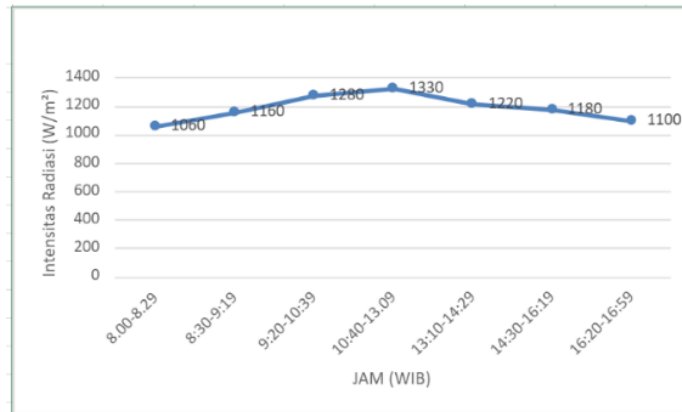
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana:

- η = Efisiensi (%)
 P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (Watt)
 P_{out} = Daya output (Watt)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, telah dilakukan uji eksperimental mengenai pengaruh sudut kemiringan dan arah terhadap daya keluaran *solar cell*. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut kemiringan dan arah tersebut menghasilkan daya keluarannya. Dengan mengetahui sudut kemiringan dan arah yang paling efektif, diharapkan dapat mengoptimalkan kinerja *solar cell* sehingga menghasilkan listrik yang dapat digunakan sesuai kebutuhan. Pengujian sebuah panel surya *monocrystalline* 120 Wp dengan merubah posisi sudutnya (setiap 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , dan 75°) terhadap sudut datang matahari Gambar 1 (b) & (c), menghasilkan data pada Gambar 2.



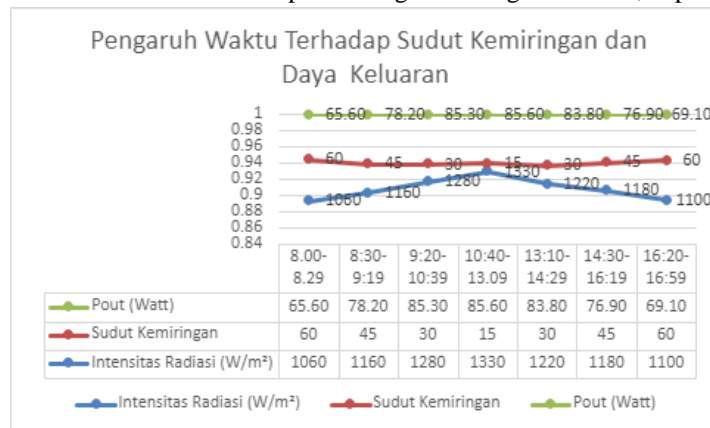
Gambar 2. Grafik Intensitas radiasi matahari terhadap waktu

Tabel 1. Waktu Matahari terhadap Sudut kemiringan Panel

Jam	Irradiasi Tertinggi (W/m ²)	Sudut (°)	Pout (W)
08.00-08.29	1060	60	65.60
08.30-09.19	1160	45	78.20
09.20-10.39	1280	30	85.30
10.40-13.09	1330	15	85.60
13.10-14.29	1220	30	83.80
14.30-16.19	1180	45	76.90
16.20-16.59	1100	60	69.10

Gambar 2, *Solar cell* tipe *monocrystalline* menerima radiasi tertinggi pada pagi hari sebesar 900 W/m², radiasi puncak pada siang hari sebesar 1330 W/m², dan radiasi sore hari sebesar 1100 W/m². Intensitas radiasi tertinggi berada pada rentang jam 10.40-13.09 WIB. Matahari mengalami pergerakan sehingga menyebabkan sudut kemiringan optimal panel *solar cell* memiliki pola berdasarkan waktu pergerakan matahari. Pada jam 08.00-08.29 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 60°, jam 08.30-09.19 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 45°, jam 09.20-10.39 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 30°, jam 10.40-13.09 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 15°, jam 13.10-14.29 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 30°, jam 14.30-16.19 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 45°, dan pada jam 16.20-16.59 sudut kemiringan yang efektif berada pada sudut 60°. Data perubahan pergerakan matahari dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 data hubungan antara waktu dan radiasi langsung yang diterima *solar cell* berdasarkan sudut kemiringan yang efektif terhadap daya keluaran *solar cell*. Hasil perbandingan hubungan tersebut, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengaruh waktu terhadap sudut dan daya

Dari Gambar 3 dapat dilihat pengaruh jam matahari terhadap sudut kemiringan sehingga menghasilkan daya yang optimal. Semakin tinggi radiasi matahari, maka semakin besar daya keluaran yang dihasilkan berdasarkan sudut kemiringan yang optimal (sesuai). Kemiringan yang paling efektif adalah pada pagi hari jam 08.00-08.29 WIB adalah 60° dengan radiasi tertinggi 1060 W/m² dan daya keluaran sesaat sebesar 65.6 Watt. Sudut kemiringan yang efektif saat matahari mencapai puncak di siang hari mulai dari jam 10.40-13.09 WIB adalah 15° dengan radiasi tertinggi 1330 W/m² dan daya keluaran sesaat sebesar 85.6 Watt. Sudut kemiringan yang efektif pada sore hari pada jam 16.20-16.59 WIB adalah 60° dengan radiasi tertinggi 1100 W/m² dan daya keluaran sesaat sebesar 69.1 Watt.

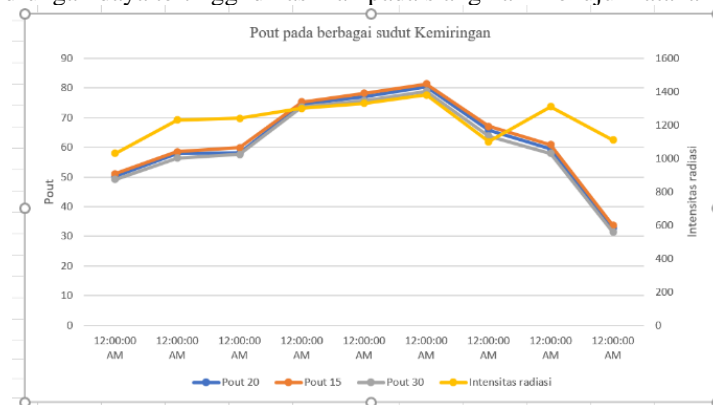
Tabel 2. Daya keluaran dan efisiensi terhadap sudut

Jam	Irradiasi (W/m ²)	Sudut (°)	Pout (W)	Pin (W)	Efisiensi (%)
8.00-8.29	1060	60	65.60	563.92	11.63
8.30-9.19	1160	45	78.20	617.12	12.67
9.20-10.39	1280	30	85.30	680.96	12.52
10.40-13.09	1330	15	85.60	707.56	12.09
13.10-14.29	1220	30	83.80	649.04	12.91
14.30-16.19	1180	45	76.90	627.76	12.24
16.20-16.59	1100	60	69.10	585.20	11.80

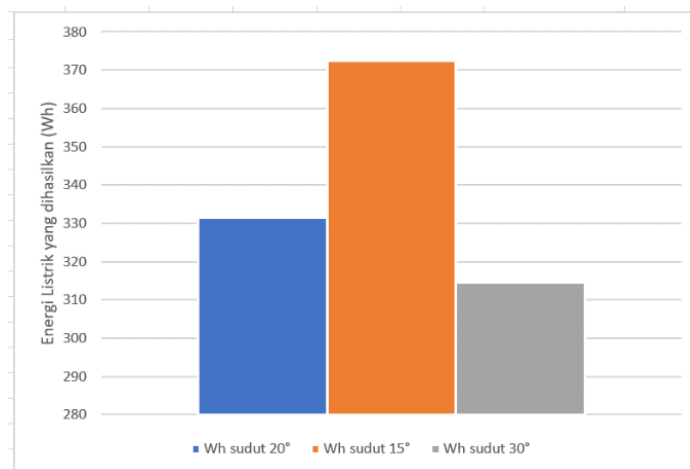
Untuk menghitung efisiensi *Solar Cell*, diperlukan data intensitas radiasi matahari, hasil daya input akibat radiasi matahari, dan luas area permukaan solar cell serta daya output. Tabel 2 diatas adalah efisiensi dan energi listrik yang dihasilkan *solar cell*. Hasil pengujian, secara umum efisiensi *solar cell* mendekati 12% dimana hasil tertinggi didapatkan 12.67 % pada sudut 45°, namun *Pout* yang dihasilkan kecil dibandingkan dengan pengujian sudut 15°, dimana *Pout* yang didapatkan adalah 85.6 Watt, namun disini lain efisiensinya lebih rendah.

3.1 Penentuan Sudut Efektif dan Arah Solar Cell Saat Fix Position

Orientasi sudut dan arah *solar cell* yang akan ditetapkan sangat penting diketahui dalam proses pemasangan sistem agar didapatkan penyerapan energi yang maksimal. Untuk mengetahui sudut efektif jika *solar cell* dipasang *fix position*, maka perlu pertimbangan sudut berapa yang akan digunakan sehingga daya keluaran harian yang dihasilkan oleh *solar cell* dapat maksimal. Sedangkan, untuk menentukan arahnya yang akan digunakan pada posisi *fix position* dapat dipertimbangkan melalui kecendrungan radiasi matahari berdasarkan jam pergerakan matahari (pagi,siang, sore) yang dilihat dari *WattHours* yang dihasilkan *solar cell*. Berdasarkan *WattHours solar cell* dalam rentang waktu tertentu, maka dapat dilihat bahwa kecendrungan daya tertinggi dihasilkan pada siang hari menuju matahari terbenam Gambar 4.

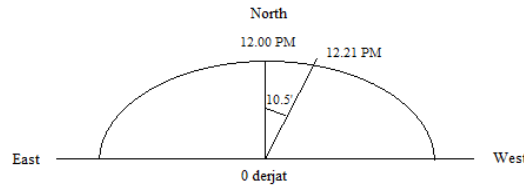


Gambar 4. Grafik daya keluaran sel surya pada sudut yang berbeda

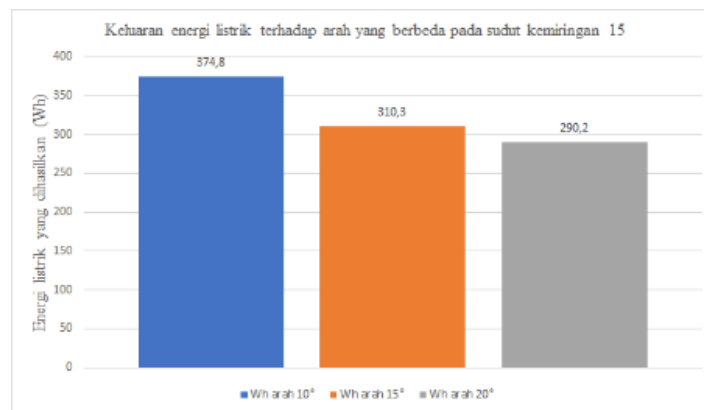


Gambar 5. Grafik jumlah energi listrik yang diserap

Berdasarkan Gambar 4, sudut kemiringan yang efektif dalam pemasangan solar *cell fix position* (tanpa *solar tracker*) yaitu pada 3 posisi sudut 15°, 20°, 30°. Dapat dilihat bahwa energi yang dihasilkan pada sudut 15° lebih maksimal dibandingkan sudut lainnya serta rentang waktu yang panjang. Setelah dilakukannya pengujian lebih lanjut, energi yang lebih besar dihasilkan pada sudut 15° seperti yang terlihat pada Gambar 5. Arah yang efektif dalam pemasangan *solar cell* yaitu menghadap ke Utara Barat Laut, karena pada saat posisi ini potensi energi matahari dapat diserap panel lebih maksimal. Hal tersebut dapat dilihat dari Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Kecenderungan pemilihan arah panel dan Orientasi Arah Solar Cell



Gambar 7. Grafik energi yang diserap pada berbagai arah panel

Pada Gambar 6 merupakan gambaran arah pemasangan sel surya, matahari tepat di utara pada jam 12.00 jika berada di wilayah garis ekuator. Pada lokasi penelitian, matahari tepat berada di utara pada pukul 12.21 WIB. Maka untuk menentukan arah *solar cell* terhadap matahari yang akan di gunakan, diperoleh hasil sebagai berikut.

$$\text{Arah solar cell} = \frac{\text{matahari tepat di utara (dalam menit)}}{\text{rotasi bumi}} \times 180^\circ \text{Arah solar cell} = \frac{21 \text{ menit}}{360} \times 180^\circ \text{Arah solar cell} = 10.5^\circ$$

Secara teori arah dalam pemasangan *solar cell fix position* ini adalah menghadap ke Utara Barat Laut 10.5°.

3.2 Hasil Daya Keluaran dan Watt Hours yang dihasilkan Solar Cell pada arah 10°, 15°, dan 20° Menghadap 10.5° ke Utara Barat Laut

Gambar 7 merupakan hasil pengujian memperlihatkan jumlah energi listrik paling maksimal dihasilkan sebuah panel surya dengan ukuran 120 Wp berada pada kondisi pemasangan 15° sudut kemiringan panel dengan arah 10,5° menghadap ke barat laut. Dari hasil pengujian, pada kondisi tersebut didapatkan 378.4 Wh, ini lebih baik dibandingkan dengan perolehan pengujian sel surya dengan arah orientasi 15° dan 20° menghadap ke utara barat laut.

3.3 Perhitungan Jumlah Solar Cell yang Dibutuhkan untuk Menghidupkan Unit Alat Berat

Berikut adalah perhitungan jika energi listrik ini digunakan sebagai sumber energi listrik pada berbagai alat berat, diperlukan perhitungan yang tepat agar kebutuhan energi dapat tercukupi. Sebuah excavator dengan sumber energi *full electric* menghabiskan energi sebesar 150 kWh selama 12 jam pemakaian. Untuk memenuhi kebutuhan energi pada unit, maka jumlah solar panel yang diperlukan dapat dilihat sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Jam operasional unit} &= 12 \text{ hours/day} & 150 \text{ kwh} &= 150.000 \text{ Wh} & \text{Harga solar cell} &= \text{Rp.500.000,00/unit} \\ \text{Luas solar cell} &= 0.532 \text{ m}^2 & \text{Energi yang dihasilkan panel} &= 331.4 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah solar cell} = \frac{\text{kebutuhan energi unit}}{\text{energi yang dihasilkan panel}} = \frac{150.000 \text{ Wh}}{374.8 \text{ Wh}} = 400.2 \text{ unit} = 400 \text{ unit}$$

$$\text{Total luasan solar cell} = \text{Jumlah solar cell} \times \text{luas solar cell} = 400 \times 0.532 \text{ m}^2 = 212.8 \text{ m}^2 = 21.28 \text{ m} \times 10 \text{ m.}$$

$$\text{Biaya awal yang dikeluarkan} = \text{Jumlah solar cell} \times \text{harga solar cell} = 400 \text{ unit} \times \text{Rp 500.000} = \text{Rp200.000.000,00.}$$

$$\text{Biaya listrik yang dibutuhkan} = 150 \text{ kW} \times \text{Rp 8000} = \text{Rp 1.200.000,00}$$

Perbandingan penggunaan unit bersumber energi listrik dengan bahan bakar (BBM)

Penggunaan BBM = 17 Liter/hours Harga BBM= Rp25.000,00/liter Jam operasional unit = 12 hours/day
Biaya bahan bakar = harga bahan bakar × penggunaan bahan bakar × jam operasional
= Rp25.000,00 × 17 liter × 12 hours = Rp2.448.000,00
Biaya operasional yang dihemat
= $\frac{1200.000}{2.448.000} \times 100\% = 49\%$

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis dapat diambil kesimpulan bahwa sudut kemiringan yang efektif dalam pemasangan solar cell fix position (tanpa solar tracker) pada lokasi 0°56'31.4"S 100°22'58.4"E yaitu pada sudut 15° menghadap 10.5° ke barat laut, serta perhitungan kajian penggunaan energi listrik hasil dari solar cell dapat menghemat 49% biaya operasional. Untuk meningkatkan jumlah energi listrik yang dihasilkan solar cell perlu ditambah solar tracking system yang hemat energi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada P3M PNP yang memberikan dana penelitian dan Rekan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang serta mahasiswa TAB PNP yang telah memberikan kontribusi sehingga paper ini dapat diselesaikan.

Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 5 Tahun 2006, "Kebijakan Energi Nasional," *Pemerintahan indonesia periode SBY*, pp. 1–8, 2006.
- [2] D. Wahyu, "Studi Eksperimental Pipa Kalor untuk Pemanas Kolektor Surya," *Jurnal Teknik Mesin-ITP (ISSN)*, 2016.
- [3] R. A. M. Napitupulu, "Karakteristik Sel Surya 20 Wp dengan dan Tanpa Tracking System," *Jurnal Teknik Nommensen*, Sep. 2016.
- [4] F. Jafarkazemi and S. A. Saadabadi, "Optimum tilt angle and orientation of solar surfaces in Abu Dhabi, UAE," *Renew Energy*, vol. 56, pp. 44–49, Aug. 2013, doi: 10.1016/J.RENENE.2012.10.036.
- [5] H. Z. al Garni, A. Awasthi, and D. Wright, "Optimal orientation angles for maximizing energy yield for solar PV in Saudi Arabia," *Renew Energy*, vol. 133, pp. 538–550, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.10.048.
- [6] G. C. Lazaroiu, M. Longo, M. Roscia, and M. Pagano, "Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption," *Energy Convers Manag*, vol. 92, pp. 143–148, Mar. 2015, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2014.12.046.
- [7] M. Benganem, "Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia," *Appl Energy*, vol. 88, no. 4, pp. 1427–1433, Apr. 2011, doi: 10.1016/J.APENERGY.2010.10.001.
- [8] Y. Zhu, J. Liu, and X. Yang, "Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection," *Appl Energy*, vol. 264, p. 114647, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2020.114647.
- [9] M. Z. Jacobson and V. Jadhav, "World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels," *Solar Energy*, vol. 169, pp. 55–66, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.SOLENER.2018.04.030.
- [10] J. I. Laveyne, D. Bozalakov, G. van Eetvelde, and L. Vandeveld, "Impact of Solar Panel Orientation on the Integration of Solar Energy in Low-Voltage Distribution Grids," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2020, p. 2412780, 2020, doi: 10.1155/2020/2412780.
- [11] D. H. W. Li and T. N. T. Lam, "Determining the Optimum Tilt Angle and Orientation for Solar Energy Collection Based on Measured Solar Radiance Data," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2007, p. 085402, 2007, doi: 10.1155/2007/85402.
- [12] W. G. le Roux, "Optimum tilt and azimuth angles for fixed solar collectors in South Africa using measured data," *Renew Energy*, vol. 96, pp. 603–612, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.RENENE.2016.05.003.
- [13] A. K. Yadav and S. S. Chandel, "Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 503–513, Jul. 2013, doi: 10.1016/J.RSER.2013.02.027.
- [14] E. Asl-Soleimani, S. Farhangi, and M. S. Zabihi, "The effect of tilt angle, air pollution on performance of photovoltaic systems in Tehran," *Renew Energy*, vol. 24, no. 3–4, pp. 459–468, Nov. 2001, doi: 10.1016/S0960-1481(01)00029-5.
- [15] P. Tsalides and A. Thanailakis, "Direct computation of the array optimum tilt angle in constant-tilt photovoltaic systems," *Solar Cells*, vol. 14, no. 1, pp. 83–94, Apr. 1985, doi: 10.1016/0379-6787(85)90008-0.
- [16] M. E. H. Chowdhury, A. Khandakar, B. Hossain, and R. Abouhasera, "A Low-Cost Closed-Loop Solar Tracking System Based on the Sun Position Algorithm," *J Sens*, vol. 2019, p. 3681031, 2019, doi: 10.1155/2019/3681031.

- [17] T. M. Yunus Khan *et al.*, "Optimum location and influence of tilt angle on performance of solar PV panels," *J Therm Anal Calorim*, vol. 141, no. 1, pp. 511–532, Jul. 2020, doi: 10.1007/s10973-019-09089-5.
- [18] H. Assiddiq S and M. Bastomi, "Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Panel terhadap Daya dan Efisiensi Keluaran Sel Surya Polycrystalline," *DINAMIKA : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 11, p. 33, Dec. 2019, doi: 10.33772/djitm.v11i1.9285.
- [19] P. Kamkird, N. Ketjoy, W. Rakwichian, and S. Sukchai, "Investigation on temperature coefficients of three types photovoltaic module technologies under Thailand operating condition," *Procedia Eng*, vol. 32, pp. 376–383, 2012.
- [20] K. Emery and C. Osterwald, "Measurement of photovoltaic device current as a function of voltage, temperature, intensity and spectrum," *Solar Cells*, vol. 21, no. 1–4, pp. 313–327, Jun. 1987, doi: 10.1016/0379-6787(87)90130-X.
- [21] E. Cuce, P. M. Cuce, and T. Bali, "An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters," *Appl Energy*, vol. 111, pp. 374–382, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.APENERGY.2013.05.025.
- [22] C. Wen, C. Fu, J. Tang, D. Liu, S. Hu, and Z. Xing, "The influence of environment temperatures on single crystalline and polycrystalline silicon solar cell performance," *Sci China Phys Mech Astron*, vol. 55, no. 2, pp. 235–241, 2012, doi: 10.1007/s11433-011-4619-z.
- [23] O. A. Azim, I. S. Yahia, and G. B. Sakr, "Characterization of mono-crystalline silicon solar cell," *Applied Solar Energy*, vol. 50, no. 3, pp. 146–155, 2014, doi: 10.3103/S0003701X14030037.
- [24] N. D. Arora and J. R. Hauser, "Temperature dependence of silicon solar cell characteristics," *Solar Energy Materials*, vol. 6, no. 2, pp. 151–158, Jan. 1982, doi: 10.1016/0165-1633(82)90016-8.
- [25] P. Arjyadhara, S. M. Ali, and J. Chitralekha, "Analysis of solar PV cell performance with changing irradiance and temperature," *International Journal of Engineering and Computer Science*, vol. 2, no. 1, pp. 214–220, 2013.
- [26] S. Chander, A. Purohit, A. Sharma, S. P. Nehra, and M. S. Dhaka, "Impact of temperature on performance of series and parallel connected mono-crystalline silicon solar cells," *Energy Reports*, vol. 1, pp. 175–180, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.EGYR.2015.09.001.