

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP POTENSI PEMANFAATAN PLTS ROOFTOP DI BENGKEL TEKNIK MESIN, POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Friska Ayu Fitrianti Sugiono^{1,*}, Pangestuningtyas Diah Larasati², dan Eriko Arvin Karuniawan²

¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

²Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

*Email: friskaayufs@polines.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received date:

21 August 2022

Received in revised form date:

18 October 2022

Accepted date

26 October 2022

Available online date

10 November 2022

Abstract

Research on the potential of rooftop solar power plants at the Semarang State Polytechnic Mechanical Engineering Workshop has been successfully conducted. This research focused on the angle of inclination of the solar panel that affect the power and energy produced by solar cells. The method used is a simulation using Helioscope software to determine the average radiation received by solar panels on an inclined plane with variations in the angle of inclination between 0° to 25° and the azimuth angle at 0° facing north and 180° facing south. The result of simulation using Helioscope software showed that the optimal angle of inclination of the solar panels on the rooftop PLTS at the Semarang State Polytechnic Machinery Workshop Building is 10° with the radiation received of 1773.7 kWh/m^2 and the total energy production generated is 13577.8 kWh .

Keywords: Solar cell, helioscope, solar panel angle

Kata kunci:

Sel surya

Helioscope

Sudut panel surya

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang potensi PLTS rooftop di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. Penelitian ini membahas tentang salah satu faktor yang berpengaruh terhadap output daya dan energi sel surya yaitu sudut kemiringan panel surya. Metode yang digunakan berupa simulasi dengan menggunakan software Helioscope untuk mengetahui rata-rata radiasi yang diterima panel surya pada bidang miring dengan variasi sudut kemiringan antara 0° sampai dengan 25° dan sudut azimuth pada 0° menghadap utara dan 180° menghadap selatan. Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software Helioscope diperoleh sudut kemiringan panel surya yang optimal pada PLTS rooftop di Gedung Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang adalah sebesar 10° dengan radiasi yang diterima sebesar $1773,7 \text{ kWh/m}^2$ dan total produksi energi yang dihasilkan sebesar $13577,8 \text{ kWh}$.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari Matahari menjadi energi listrik. PLTS menggunakan prinsip kerja sel fotovoltaik, yaitu lapisan tipis dari bahan semikonduktor yang jika bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Untuk intensitas energi yang ada dalam sinar matahari yang mencapai permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Akan tetapi perlu diketahui bahwa daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik akibat efek fotovoltaik baru mencapai 25%, sehingga produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 watt per m^2 [1]. Berdasarkan teknologi yang digunakan PLTS dibagi menjadi dua sistem yaitu sistem PLTS *grid-connected* dan PLTS *Off – Grid (Stand Alone)*. PLTS *grid-connected* atau PLTS terinterkoneksi adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan PLN. Manfaat dari PLTS *grid-connected* dapat

menghasilkan listrik yang bebas emisi dan ramah lingkungan. Sistem ini memberikan nilai tambah pada konsumen karena dapat mengurangi tagihan listrik rumah tangga atau perkantoran [2]. PLTS *Off – Grid (Stand Alone)* adalah jenis sistem PLTS yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan beban listrik. PLTS *off – grid* biasanya terdapat pada daerah pedalaman atau pulau-pulau besar yang tidak mendapatkan pasokan listrik.

Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menjelaskan bahwa Indonesia menargetkan kapasitas PLTS nasional sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 45 GW pada tahun 2050. Provinsi Jawa Tengah diperkirakan bisa menjadi pemimpin dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia, hal ini diperkirakan oleh *Institute for Essential Services Reform (IESR)*. Jawa Tengah diproyeksikan memiliki potensi PLTS sebesar 193–670 Gigawatt peak (GWp) dengan potensi pembangkitan dari PLTS sekitar 285–959 Terawatt hour (TWh) per tahun. Informasi tersebut dapat menjadi acuan dalam pengembangan PLTS di Jawa Tengah [3].

Namun faktanya, diperlukan investasi yang cukup besar untuk membangun sebuah sistem PLTS. Oleh sebab itu, berbagai studi mengenai perancangan PLTS dalam terus ditingkatkan demi tercapainya target pemasangan PLTS di berbagai wilayah. Salah satu yang termasuk instrumen penelitian yakni dengan menggunakan bantuan *software* untuk pengolahan data serta mengambil keputusan dari skenario yang telah dirancang. *Software* dengan fitur yang lengkap namun mudah digunakan akan sangat efektif dalam mengerjakan suatu studi khususnya mengenai sistem PLTS. Salah satu *software* yang digunakan dalam mendesain suatu sistem PLTS adalah *Helioscope*. *Helioscope* adalah sebuah program baru yang bersifat *open software* berbasis website (<https://www.helioscope.com/>). *Helioscope* diperkenalkan oleh Folsom Lab USA yang digunakan untuk merancang sistem fotovoltaik seperti beberapa fitur PVSyst dan menambahkan fungsionalitas desain AutoCAD, yang memungkinkan perancang untuk melakukan desain lengkap dalam satu paket. Alamat lokasi, konfigurasi array, modul PV dan spesifikasi *inverter* adalah syarat input utama yang diperlukan *Helioscope*. Alat ini menampilkan produksi tahunan, kumpulan data cuaca, rasio kinerja, dan parameter sistem lainnya untuk hasil simulasi [4].

Sudut kemiringan panel merupakan salah satu parameter lingkungan yang mempengaruhi kinerja sel surya. Perancangan sistem dalam penentuan sudut kemiringan panel ditujukan agar intensitas matahari yang diterima oleh panel surya maksimal. Sudut yang mempengaruhi pemasangan panel surya pada instalasi ada 2 macam yaitu sudut kemiringan panel surya terhadap bidang horisontal atau disebut juga dengan *slope* dan sudut yang diukur searah dengan acuan arah selatan yang disebut dengan sudut azimut [5]. Politeknik Negeri Semarang (Polines) adalah salah satu perguruan tinggi yang terdapat di Kota Semarang. Salah satu misi dari Polines adalah melaksanakan dan mengembangkan penelitian terapan dan pengabdian kepada masyarakat dalam bidang teknologi dan bisnis. Salah satu pengembangan penelitian yang dapat dikembangkan adalah penelitian mengenai PLTS sebagai sumber energi alternatif. Saat ini, pengembangan PLTS Polines belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi alternatif, khususnya di Prodi Teknik Mesin. Sehingga, pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap potensi pemanfaatan PLTS *rooftop* di Bengkel Mesin dengan menggunakan *software Helioscope*.

2. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian ini adalah melakukan observasi untuk mengetahui lokasi, konfigurasi dan spesifikasi sistem PLTS pada Gedung Bengkel Prodi Teknik Mesin di Politeknik Negeri Semarang seperti yang ada pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi *rooftop* Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Tahap berikutnya mengumpulkan data dokumentasi pada PLTS Gedung Bengkel Politeknik Negeri Semarang. Kemudian, melakukan simulasi unjuk kerja PLTS dengan berbagai variasi sudut kemiringan menggunakan *software* Helioscope dan menganalisis data hasil simulasi yang telah dilakukan. Terakhir setelah dilakukan analisis, didapatkan kesimpulan mengenai sudut kemiringan panel surya yang paling optimal serta hasil produksi energi pada PLTS *rooftop* di Gedung Bengkel Mesin Politeknik Negeri Semarang.

2.1. Photovoltaic (PV) dan Inverter

Dalam penelitian ini panel surya yang digunakan adalah Jinko JKM 330P-72 V, yang merupakan panel surya jenis *polycrystalline* dan memiliki kapasitas 330 Wp. Jumlah panel yang digunakan dalam simulasi adalah 36 buah, sehingga kapasitas PLTS adalah 11,88 kWp. Bentuk dan data teknis dari Panel Surya Jinko JKM 330P-72 V dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1 [6].



Gambar 2. Panel Jinko JKM 330P-72V [6]

Tabel 1. Datasheet Jinko JKM 330P-72V [6]

| Data | Jinko JKM 330P-72V |
|-------------------|--------------------|
| Pmax | 330 W |
| Cell Type | Poly-crystalline |
| Dimensions | 1956 × 992 × 40mm |
| Vmp | 37,8 V |
| Imp | 8,74 V |
| Isc | 9,14 A |
| Voc | 46,9 V |
| Module efficiency | 17,01 % |

Inverter merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) dari panel surya menjadi tegangan bolak – balik (AC). *Inverter* dibutuhkan karena sebagian besar beban yang digunakan dan jaringan listrik PLN merupakan tegangan bolak – balik (AC) [7]. Dalam simulasi ini digunakan *inverter on grid* Growatt-2500-5500MTL-S yang merupakan *inverter* 1 fasa dengan kapasitas 2500 W. Bentuk dan data teknis dari *Inverter On Grid Growatt 2500MTL-S* dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 2.

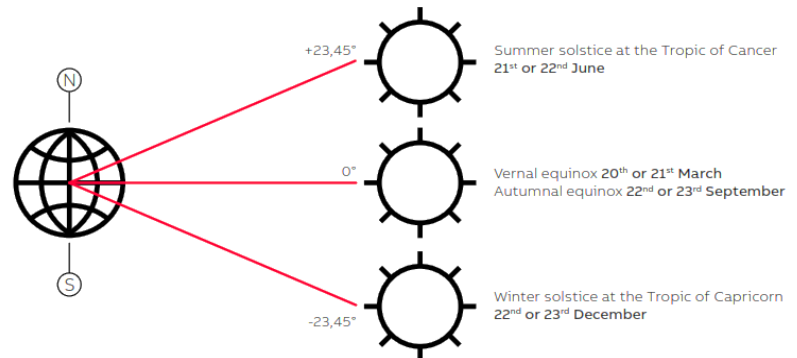


Gambar 3. Inverter On Grid Growatt 2500MTL-S

Tabel 2. Datasheet *Inverter Growatt 2500MTL-S*

| Data | Growatt 2500MTL-S |
|--------------------|-------------------|
| Max PV Power | 2900 W |
| DC Max voltage | 550 V |
| Start Voltage | 100 V |
| Max input per MPPT | 10A |
| MPPT | 2 |
| Efficiency | 97,6% |

2.2. Kemiringan dan Orientasi Modul



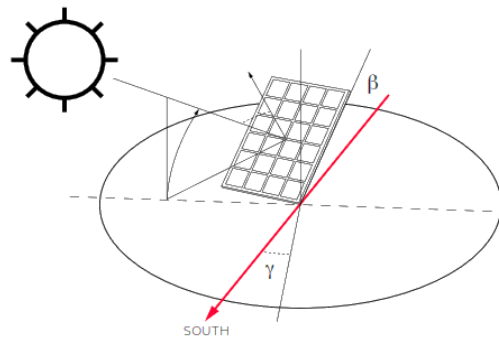
Gambar 4. Matahari diposisikan pada sudut datang 90° terhadap permukaan bumi (zenith) di ekuator [8]

Besarnya radiasi yang diterima oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya posisi terhadap matahari. Gerak bumi terhadap Matahari menyebabkan perubahan sudut iradiasi matahari yang akan diterima oleh panel surya. Efisiensi maksimum sebuah panel surya akan tercapai jika sudut datang sinar matahari adalah selalu 90° [8]. Faktanya, kejadian radiasi matahari bervariasi baik menurut garis lintang maupun deklinasi matahari sepanjang tahun seperti yang ada pada Gambar 4. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan energi maksimum dari panel surya dapat dilakukan dengan mengatur kemiringan panel surya sehingga mencapai posisi 90° dengan sudut datang sinar matahari. Selain itu, perlu diketahui ketinggian maksimum (dalam derajat) yang dicapai Matahari di atas cakrawala pada saat itu, yang dapat diperoleh dengan formula berikut.

$$\alpha = 90^\circ - lat + \delta \quad (1)$$

dimana α merupakan sudut inklinasi panel surya, lat adalah sudut garis lintang dari penempatan panel surya dan δ adalah sudut deklinasi dari matahari.

Dengan menemukan sudut komplementer ($90^\circ - \alpha$) maka akan didapatkan sudut kemiringan modul (β) dengan bidang horizontal sehingga kemiringan panel surya mencapai posisi 90° dengan sudut datang sinar matahari [9]. Pengaturan posisi panel surya seperti yang ada pada Gambar 5.



Gambar 5. Posisi panel surya dengan kemiringan sebesar β [8]

Nilai iradiasi matahari akan berpengaruh pada energi listrik yang dihasilkan panel surya sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (2)$$

dimana E adalah energi dalam satuan kWh, A merupakan luas area dari panel surya dalam m^2 , r merupakan *solar panel yield* (%), H merupakan rata – rata iradiasi dalam satu tahun dalam satuan kWh/ m^2 , dan PR merupakan *performance ratio* dari panel surya [10].

2.3. Pemodelan Matematis Daya Ouput

Helioscope merupakan *software* yang dapat merancang simulasi daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya pada lokasi tertentu dengan memperhitungkan asumsi – asumsi tertentu. Asumsi yang digunakan pada *software* Helioscope antaralain teknologi yang digunakan (panel surya, *inverter*, *Maximum Power Point Tracking*, *combiner*, dan kabel), perancangan letak panel dan lingkungan (data meteorologi, perhitungan radiasi, perhitungan bayangan/*shading models*, refleksi, pemodelan temperatur, dan rugi – rugi lainnya).

Pemodelan yang digunakan pada *Helioscope* menggunakan *Tigo Maximizer* dengan menggunakan algoritma *buck optimizer* untuk meningkatkan efisiensi yang digunakan pada perhitungan daya output yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya. Bucking ratio (χ) yang digunakan untuk perhitungan efisiensi pada optimizer dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\chi = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (3)$$

dimana χ adalah *bucking ratio*, V_{out} merupakan tegangan keluaran efektif (dengan memperhitungkan *tigo impedance correction*), dan V_{in} merupakan tegangan *maximum power point* (V_{mpp}) panel surya. Perhitungan daya output yang digunakan pada *software Helioscope* menggunakan persamaan matematis di bawah ini.

$$P_{out} = \left(\frac{I_{in}}{\chi} \cdot \eta(\chi) \right) \cdot (V_{in} \cdot \chi) = I_{in} V_{in} \eta(\chi) \quad (4)$$

dimana P_{out} adalah daya keluaran panel (W), χ adalah *bucking ratio*, I_{in} adalah arus input *maximum power point* (I_{mpp}) panel surya, dan V_{in} adalah tegangan *maximum power point* (V_{mpp}) panel surya. Pemodelan matematis yang digunakan pada *software Helioscope* menggunakan asumsi bahwa masing – masing karakteristik dari *optimizer* yang digunakan adalah nilai χ akan ditingkatkan untuk mengganti kurva I/V , pada saat tegangan *array* pada panel surya beroperasi di bawah dari nilai *maximum power point* – nya (MPP), dan nilai χ akan sama dengan 1 saat tegangan *inverter* di atas nilai *maximum power point* dari modul panel surya [11].

Perhitungan matematis daya output yang terdapat di Persamaan (4) kemudian digunakan untuk menghitung energi pada setiap jam dalam satu tahun tertentu yang kemudian digunakan untuk menghasilkan total energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya secara tahunan (*annual energy*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

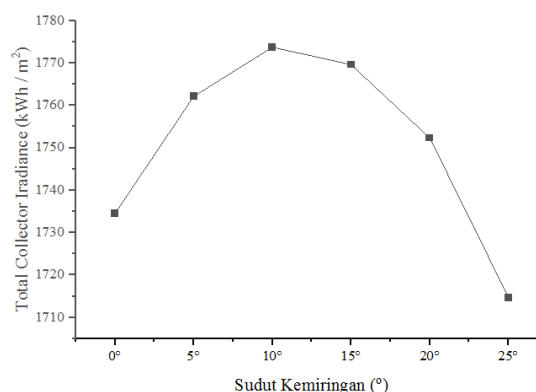
Polines terletak di Kota Semarang yang mempunyai letak astronomis 7.0521006° LS dan 110.4353347° BT. Agar mendapatkan radiasi matahari yang optimal, maka panel surya diarahkan menghadap ke arah garis khatulistiwa, arah hadap matahari inilah yang disebut dengan sudut azimuth. Untuk bagian bumi selatan seperti Kota Semarang, panel surya sebaiknya diarahkan ke arah utara menghadap garis khatulistiwa. Sudut azimuth yang digunakan pada simulasi ini adalah sebesar 0° . Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan oleh panel surya adalah besarnya radiasi yang diterima oleh panel surya. Semakin besar radiasi matahari yang diterima oleh panel surya maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh panel surya, begitu pula sebaliknya semakin kecil radiasi yang diterima oleh panel surya maka semakin rendah daya yang dihasilkan oleh panel surya.

Besarnya radiasi yang diterima oleh panel surya terutama untuk tipe *fixed array*/larik tetap sangat dipengaruhi oleh 2 (dua) sudut, yaitu sudut kemiringan panel surya (*tilt angle*) dan sudut azimuth dari panel surya. Untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan pada *fixed array* terhadap radiasi yang diterima oleh panel surya. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar sudut panel surya yang bisa digunakan agar diperoleh daya maksimal sesuai dengan teori yang ada pada bab sebelumnya. Kenaikan sudut kemiringan yang digunakan bervariasi dari 0° – 25° dengan variasi kenaikan sebesar 5° dan sudut azimuth yang digunakan sebesar 0° . Pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi yang diterima oleh panel surya di Bengkel Teknik Mesin Polines dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa sudut kemiringan panel surya yang paling optimal untuk menerima radiasi matahari di atap Bengkel Teknik Mesin Polines adalah sebesar 10° . Pada sudut kemiringan panel sebesar 10° radiasi yang dapat diterima oleh panel surya adalah sebesar $1.773,7 \text{ kWh/m}^2$. Selain mendapat radiasi matahari yang paling optimal, dengan sudut kemiringan panel sebesar 10° , dapat memudahkan operator panel surya dalam hal perawatan dan pemeliharaan panel surya dari debu dan kotoran serta air hujan.

Tabel 3. Pengaruh sudut kemiringan terhadap radiasi yang diterima panel surya

| No | Sudut Kemiringan | Total Collector Irradiance (kWh/m ²) |
|----|------------------|--|
| 1 | 0° | 1734,5 |
| 2 | 5° | 1762,1 |
| 3 | 10° | 1773,7 |
| 4 | 15° | 1769,6 |
| 5 | 20° | 1752,3 |
| 6 | 25° | 1714,7 |



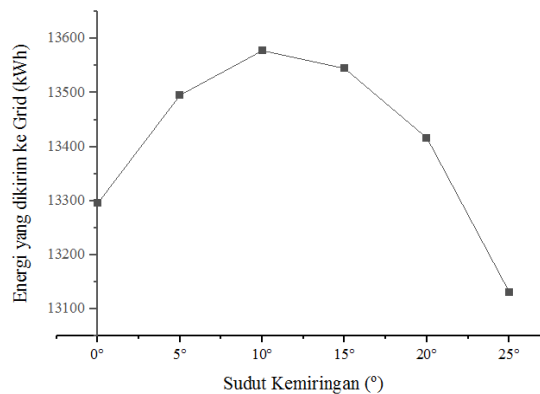
Gambar 6. Grafik hubungan antara sudut kemiringan dengan radiasi yang diterima panel surya

Tabel 4 dan Gambar 7 berisi hasil simulasi pengaruh sudut kemiringan panel surya yang dipasang di atap Bengkel Teknik Mesin Polines terhadap daya yang dikirimkan ke grid. Terlihat pada grafik di atas bahwa sudut kemiringan panel surya yang paling optimal untuk mengirimkan daya yang paling besar adalah 10° . Berdasarkan hasil simulasi yang dilaksanakan dengan helioscope dengan menggunakan pemodelan matematis yang terdapat pada Persamaan (4), pada sudut kemiringan panel surya sebesar 10°

panel surya yang terpasang di atap Bengkel Teknik Mesin Polines dapat mengirimkan energi ke *grid* sebesar 13.577,8 kWh per tahun.

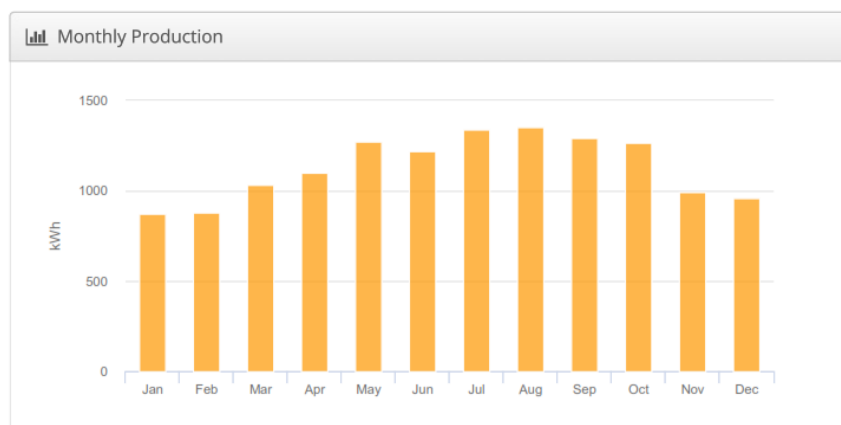
Tabel 4. Pengaruh sudut kemiringan terhadap energi yang dikirim ke *grid*

| No | Sudut Kemiringan | Energi yang dikirim ke <i>grid</i> (kWh) |
|----|------------------|--|
| 1 | 0° | 13.295,3 |
| 2 | 5° | 13.495,3 |
| 3 | 10° | 13.577,8 |
| 4 | 15° | 13.544,8 |
| 5 | 20° | 13.416,2 |
| 6 | 25° | 13.131,4 |



Gambar 7. Grafik hubungan antara sudut kemiringan dengan energi yang dikirim ke *grid*

Dari hasil simulasi dengan menggunakan Helioscope juga diperoleh rata-rata energi yang dihasilkan PLTS *rooftop* di Bengkel Teknik Mesin Polines per bulan selama satu tahun seperti yang ada pada Gambar 8. Dengan adanya potensi ini dapat menjadi pertimbangan untuk mengaplikasikan PLTS *rooftop* di Bengkel Teknik Mesin Polines, sehingga potensi energi surya dapat dimanfaatkan dengan baik.



Gambar 8. Hasil simulasi energi yang dikirimkan ke *grid* dengan sudut kemiringan panel surya sebesar 10°

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan *software* Helioscope diperoleh sudut kemiringan panel surya yang optimal untuk pemasangan PLTS *rooftop* di Gedung Bengkel Mesin Politeknik Negeri

Semarang adalah sebesar 10° dengan radiasi yang diterima sebesar $1773,7 \text{ kWh/m}^2$ dan total produksi energi yang dihasilkan sebesar $13577,8 \text{ kWh}$.

4.2. Saran

Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi peneliti yang lain mengenai PLTS *rooftop* khususnya di Gedung Bengkel Mesin Politeknik Negeri Semarang.

4.3. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Politeknik Negeri Semarang bantuan materil dan moril dalam pengerjaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada tim atas dipublikasikannya penelitian ini.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Yushchenko, A. de Bono, B. Chatenoux, M. K. Patel, and N. Ray, "GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 2088–2103, 2018.
- [2] P. Ortega-Arriaga, O. Babacan, J. Nelson, and A. Gambhir, "Grid versus off-grid electricity access options: A review on the economic and environmental impacts," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 143, 2021.
- [3] Indonesia Gov, "Lampiran I Perpres Nomor 22 Tahun 2017 Rencana Umum Energi Nasional." p. 115, 2017. [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/Perpres%2022%20Tahun%202017.pdf>
- [4] N. Umar, B. Bora, C. Banerjee, and B. S. Panwar, "Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant," *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol. 7, no. 7, pp. 11–24, 2018.
- [5] S. Samsurizal, A. Makkulau, and C. Christiono, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method," *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, 2018.
- [6] Jinko Solar, "Green Sun Full Set 1MW, 2MW, 5MW On Grid 3 Phase Solar System. Catalog Eagle 72P," pp. 1–2, 2015, [Online]. Available: [https://www.jinkosolar.com/uploads/5e93f9cc/Eagle JKM320-340PP-72-\(V\)-A3,1-EN.pdf](https://www.jinkosolar.com/uploads/5e93f9cc/Eagle JKM320-340PP-72-(V)-A3,1-EN.pdf)
- [7] K. S. Hayibo and J. M. Pearce, "Optimal Inverter and Wire Selection for Solar Photovoltaic Small-Scale Fencing Applications," *SSRN Electron. J.*, vol. 42, pp. 115–128, 2022.
- [8] ABB, *Technical Application Paper Photovoltaic plants Cutting edge technology. From sun to socket*. 2019.
- [9] E. C. Kutlu, B. Durusoy, T. Ozden, and B. G. Akinoglu, "Technical potential of rooftop solar photovoltaic for Ankara," *Renew. Energy*, vol. 185, pp. 779–789, 2022.
- [10] Y. Shen, J. Zhang, P. Guo, and X. Wang, "Impact of solar radiation variation on the optimal tilted angle for fixed grid-connected PV array—case study in Beijing," *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 1, no. 4, pp. 460–466, 2018.
- [11] P. Gibbs, "HelioScope: Mathematical Formulation," 2012, [Online]. Available: <https://s3.amazonaws.com/helpscout.net/docs/assets/5889260f2c7d3a7846304e89/attachments/589528a4dd8c8e73b3e94e17/HelioScope---Mathematical-Formulation-2013-03-28.pdf>