

## Optimasi Sudut Pemasangan Panel Surya Bifasial di Indonesia dengan Metode Simulasi PVSyst

Mukhlis Ali<sup>1\*</sup>, Ludiana<sup>2</sup>, Yogi Ramdani<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra

\*Email : mukhlis.ali@nusaputra.ac.id

### ABSTRACT

*PV rooftop is a renewable energy which becomes Indonesian government priority to implement in the residential and commercial buildings. However, its implementation faces a big challenge from Indonesian climate which mostly cloudy and rainy. This threat makes increasing in PV rooftop capacity, though the available rooftop area is limited. So, there is a requirement to increase the efficiency or energy output from PV rooftop. A solution which can potentially implement to do that is the use of PV bifacial. In some previous researches, PV bifacial can increase energy output of PV rooftop about 2%-12% compares to PV monofacial. However, the value of energy output from PV bifacial depends on tilt angle of PV. Tilt angle is a factor which related to latitude position of a location. Due to the most previous researches about PV bifacial are in subtropical countries, so there is a necessity to find an optimum tilt angle for PV bifacial in Indonesia. The purpose of this research is to find an optimum tilt angle and energy output of PV bifacial in several places in Indonesia. This research is a basic research so it will use simulation method using PVSyst software. PVSyst software is prominent software in PV design simulation which is already used in some previous researches. This research concludes that PV bifacial has 1°-2° optimum tilt angle difference compares to PV monofacial. The use of PV bifacial also can increase energy output 2.25%-3,5% better than PV monofacial.*

**Keywords:** PV rooftop, PV bifacial, optimum tilt angle, energy output, PVSyst

### PENDAHULUAN

Panel surya atap merupakan salah satu energi terbarukan yang menjadi prioritas untuk dikembangkan oleh pemerintah Indonesia dalam implementasi bangunan hemat energi atau bangunan mandiri energi, terutama untuk mengejar target bauran energi terbarukan yang diharapkan mencapai 23% di tahun 2025 [3]. Akan tetapi, saat ini yang menjadi tantangan adalah efisiensi panel surya atap yang masih rendah di Indonesia sebagai akibat kondisi cuaca di Indonesia yang sebagian besar berawan dan curah hujan yang relatif tinggi. Karena cuaca mendung berdampak terhadap perolehan energi dari panel surya [10]. Selain itu temperatur lingkungan yang panas juga berdampak pada turunnya efisiensi panel surya atap yang dipasang. Akibatnya untuk mencukupi kebutuhan suatu rumah atau bangunan secara menyeluruh dibutuhkan jumlah panel surya yang lebih banyak untuk dipasang, padahal luas atap yang tersedia terbatas [16].

Salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi panel surya atap yang dipasang adalah penggunaan panel surya atap jenis bifasial. Panel surya jenis ini lebih efisien karena tidak hanya menangkap cahaya yang langsung datang dari cahaya matahari secara langsung, tapi juga dapat menangkap cahaya matahari yang dipantulkan oleh atap bangunan [15]. Dari penelitian sebelumnya dapat dibuktikan adanya peningkatan efisiensi sebesar 6,5%-11% dibandingkan panel surya jenis monofasial [6]. Selain itu berbagai penelitian di negara-negara subtropis Eropa, Afrika, Amerika dan Asia menunjukkan bahwa terdapat kenaikan perolehan energi dengan hasil yang bervariasi mulai dari 2% sampai dengan 12% [4], [8], [13].

Tetapi, penggunaan panel surya bifasial membutuhkan investasi yang lebih banyak karena harganya relatif lebih mahal, walaupun dimungkinkan adanya penurunan biaya energi jika perolehan energi panel surya dapat dimaksimalkan [6], [12]. Selain itu untuk memaksimalkan kemampuan panel surya bifasial dalam menyerap energi matahari baik yang datang secara langsung maupun yang berasal dari pantulan atap, maka sudut pemasangan panel surya monofasial tidak dapat digunakan [7], [11]. Sehingga dibutuhkan penelitian untuk mengetahui sudut

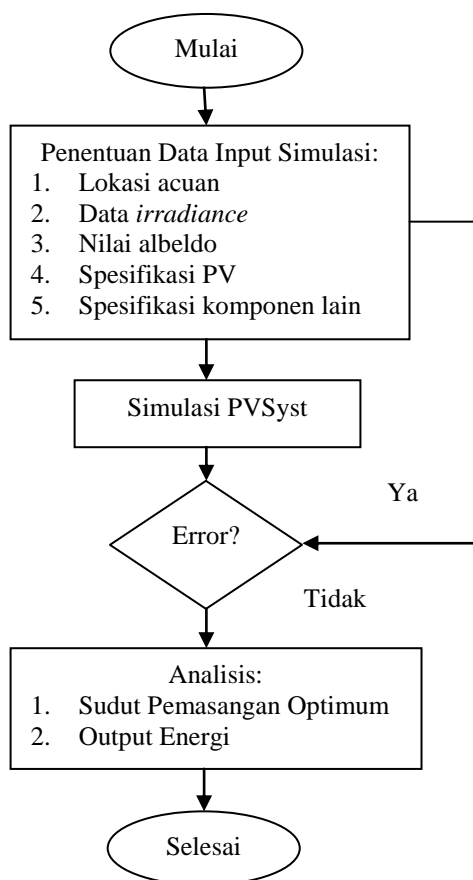
pemasangan yang optimum bagi panel surya bifasial ketika dipasang di atap bangunan [4].

Penelitian terkait optimasi sudut pemasangan panel surya bifasial yang sudah dilakukan baru ada di daerah subtropis bagian utara seperti Eropa dan Amerika Utara. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pengaruh lokasi (posisi garis lintang) sangat dominan dalam penentuan sudut pemasangan tersebut [1], [4], [13]. Selain itu pergantian musim panas ke musim dingin juga berpengaruh terhadap sudut pemasangan optimum [2]. Sehingga penelitian tersebut tidak dapat dijadikan acuan dalam pemasangan panel surya atap bifasial di Indonesia. Hal ini dikarenakan Indonesia berada di daerah tropis dan mempunyai wilayah yang berlokasi tersebar di berbagai garis lintang yang berbeda, yaitu sebagian di wilayah utara dan sebagian wilayah di selatan garis khatulistiwa.

Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sudut optimum pemasangan panel surya atap bifasial di berbagai lokasi di Indonesia dengan variasi derajat lintang lokasi dari 5°LU sampai 11°LS. Untuk menghemat biaya pada penelitian ini digunakan metode simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst. Selain itu juga dilakukan validasi hasil simulasi dengan membandingkan luaran energi panel surya monofasial dan bifasial secara langsung pada satu lokasi kontrol [9]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para kontraktor atau teknisi yang akan melakukan pemasangan panel surya atap bifasial di seluruh wilayah Indonesia. Sehingga tingkat efisiensi dari panel surya atap bifasial yang dipasang di atap bangunan mandiri energi dapat lebih maksimal sesuai lokasi pemasangan yang dilakukan.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan bantuan perangkat lunak PVSyst [4], [5]. Sedangkan validasi data hasil simulasi dilakukan dengan uji perbandingan panel surya monofasial dan bifasial secara langsung. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### Data Input Simulasi

Data input simulasi yang diperlukan untuk melakukan simulasi PVSyst terdapat lima hal yaitu: lokasi acuan simulasi, database irradiance yang digunakan, nilai albedo untuk PV bifasial, spesifikasi PV, dan spesifikasi komponen sistem panel surya atap lainnya yang diperlukan.

#### 1. Lokasi acuan simulasi

Penelitian ini ditujukan untuk mencari sudut pemasangan optimum di beberapa lokasi yang berbeda di Indonesia. Karena derajat garis lintang merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap sudut pemasangan panel surya, maka dipilih empat lokasi yang mewakili derajat garis lintang yang berbeda, dan satu lokasi yang digunakan sebagai lokasi kontrol untuk kepentingan validasi hasil simulasi. Derajat garis lintang yang digunakan divariasikan dari 5°LU sampai 10°LS dengan selisih 5° tiap kota yang dipilih. Kota yang dipilih merupakan kota dengan potensi energi terbesar di derajat lintang tersebut. Hasil pemilihan lokasi acuan dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel.1, maka dipilih empat lokasi yaitu:

- Banda Aceh untuk 5°LU
- Sorong untuk 0°
- Makassar untuk 5°LS
- Kupang untuk 10°LS

Tabel. 1 Pemilihan Lokasi Acuan Simulasi

No	Posisi	Indonesia Barat		Indonesia Tengah		Indonesia Timur	
		Kota	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )	Kota	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )	Kota	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )
1	5°LU	Banda Aceh	1792,7	Nunukan	1771,1	Talau	1581,3
2	0°	Padang	1794,6	Palu	1916,3	Sorong	1836,5
3	5°LS	Bandar Lampung	1661,7	Makassar	1917,1	Timika	1692,2
4	10°LS	Sukabumi	1668,6	Kupang	2112,4	Merauke	1751,0

Keterangan: Data GHI diambil dari [www.globalsolaratlas.info](http://www.globalsolaratlas.info) [17]

#### 2. Data irradiance

Data *irradiance* merupakan data radiasi matahari yang digunakan dalam simulasi PVSyst. Pada perangkat lunak PVSyst terdapat tujuh pilihan basis data yaitu: Meteonorm 8.0, NASA-SSE, PVGIS TMY, NREL, Solcast, dan SolarAnywhere. Diantara pilihan basis data tersebut dipilih Metonorm 8.0 karena mempunyai data *irradiance* yang paling baru.

#### 3. Nilai albedo

Nilai albedo merupakan nilai pantulan atap bangunan yang sesuai dengan warna atap yang digunakan. Untuk mencapai nilai pantulan tertinggi digunakan atap berwarna putih yang mampu memantulkan cahaya paling tinggi. Nilai albedo rata-rata untuk warna putih adalah 0,7 [15].

#### 4. Spesifikasi PV

Spesifikasi PV yang digunakan harus dipastikan yang mempunyai kapasitas yang sama, agar perbandingan luaran energi yang dihasilkan benar-benar terjadi akibat adanya sistem bifasial yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan PV LR4-60 dengan kapasitas 350Wp masing-masing berjenis monofasial dan bifasial.

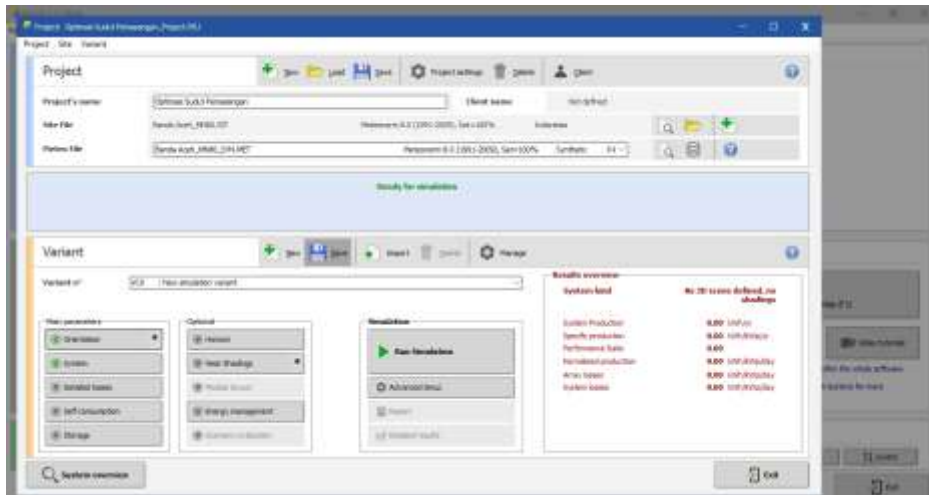
#### 5. Spesifikasi komponen lain

Untuk spesifikasi komponen sistem panel surya atap yang digunakan dibuat sama yaitu menggunakan sistem *grid connected* dengan menggunakan inverter SUN2000 yang dilengkapi MPPT.

### Rancangan Simulasi

Simulasi PVSyst yang dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

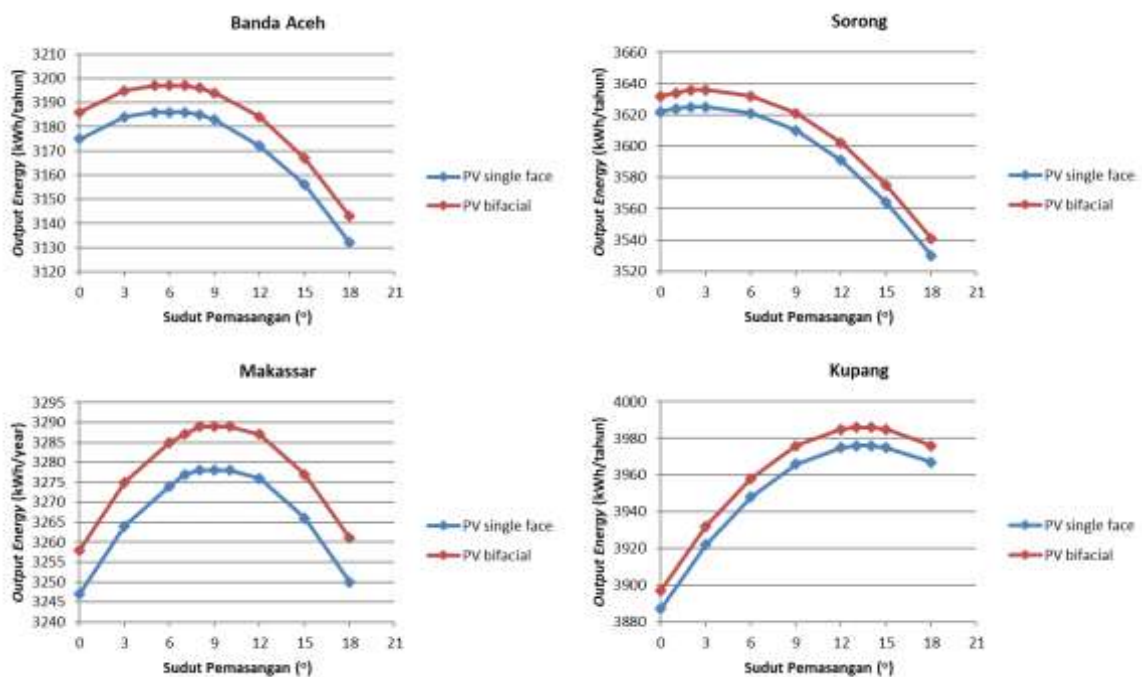
1. Melakukan pengaturan lokasi acuan
2. Melakukan pengaturan basis data *irradiance* yang digunakan
3. Melakukan pengaturan sistem panel surya yang digunakan (sistem *grid connected*)
4. Melakukan pengaturan sudut pemasangan dari 0° sampai dengan 18°
5. Melakukan pengaturan nilai albeldo
6. Menjalankan simulasi PVSyst
7. Melakukan cetak PDF laporan hasil simulasi
8. Membandingkan sudut pemasangan dan luaran energi hasil simulasi.



Gambar 2. Simulasi menggunakan PVSyst

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang dilakukan terhadap empat lokasi acuan utama menghasilkan data grafik perbandingan antara sudut pemasangan panel surya dengan output energi yang dihasilkan seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hasil simulasi pada 4 lokasi acuan utama

Dari keempat lokasi acuan utama yang disimulasikan terlihat bahwa PV bifasial mempunyai output energi yang lebih besar daripada PV monofasial atau *single face*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PV bifasial mampu meningkatkan output energi panel surya di Indonesia, walaupun dengan tingkat kenaikan yang berbeda-beda. Selain itu sudut pemasangan optimum antara PV monofasial dan PV bifasial juga memiliki perbedaan walaupun dalam derajat yang relatif kecil.

Secara ringkas sudut pemasangan optimum dan tingkat kenaikan output energi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sudut Pemasangan Optimum dan Kenaikan Output Energi

No	Posisi	Kota	Sudut Pemasangan Optimum (°)			Output Energi (kWh/tahun)		
			PV Monofasial	PV Bifasial	Selisih	PV Monofasial	PV Bifasial	% Kenaikan
1	5°LU	Banda Aceh	6	7	1	3186	3197	3,5
2	0°	Sorong	2	3	1	3625	3636	3,0
3	5°LS	Makassar	8	10	2	3278	3289	3,3
4	10°LS	Kupang	13	14	1	3976	3986	2,25

Dari Tabel 2, di atas dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan sudut pemasangan optimum antara PV monofasial dan PV bifasial sebesar 1°-2°. Hasil ini memperkuat penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh RWTH Aachen, Jerman yang menyatakan bahwa PV bifasial mempunyai sudut pemasangan optimum yang berbeda dengan PV monofasial [15]. Selain itu dapat diketahui pula bahwa posisi derajat garis lintang kota yang dijadikan acuan berpengaruh terhadap sudut pemasangan optimum PV, dimana pada PV monofasial sudut pemasangan optimum mempunyai selisih sekitar 1°-3° dari derajat garis lintangnya, sedangkan PV bifasial mempunyai selisih 2°-5° dari derajat garis lintangnya. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh University of Iowa, AS yang menyatakan bahwa sudut pemasangan optimum panel surya berubah-ubah dipengaruhi oleh posisi derajat garis lintang, iklim, dan musim yang terjadi di suatu lokasi [2].

Sedangkan untuk output energi dari hasil simulasi yang dilakukan seperti terlihat pada Tabel 2, menunjukkan bahwa penggunaan PV bifasial terbukti mampu menaikkan output energi listrik yang dihasilkan. Kenaikan yang terjadi bervariasi berkisar antara 2,25% sampai dengan 3,5%. Kenaikan ini terbilang lebih kecil dibandingkan penelitian lain di Eropa oleh ISERC, Jerman yang menunjukkan kenaikan sebesar 12% [4]. Akan tetapi jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh SERIS di Singapura maka hasil ini tidak jauh berbeda karena pada penelitian tersebut dihasilkan kenaikan output energi sebesar 4% [13]. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh iklim dan potensi energi surya di suatu lokasi yang berdampak pada tingkat kenaikan output energi yang diperoleh dari penggunaan PV bifasial.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil simulasi dengan perangkat lunak PVSyst yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sudut pemasangan optimum antara PV monofasial dan PV bifasial mempunyai perbedaan. Untuk di wilayah Indonesia perbedaan yang terjadi berkisar antara 1°-2°. Selain itu sudut pemasangan optimum untuk PV bifasial bergeser 2°-5° dari derajat garis lintang posisi lokasi yang dijadikan acuan. Sedangkan untuk output energi yang dihasilkan, PV bifasial mampu meningkatkan output energi sebesar 2,25%-3,5% dari output energi PV monofasial.

**Saran**

Perlu dilakukan simulasi untuk daerah-daerah lain di derajat garis lintang yang lebih rapat, misalnya dengan menentukan lokasi di setiap 1° garis lintang. Sehingga dapat diperoleh sudut pemasangan optimum yang dapat dijadikan acuan dalam pemasangan PV bifasial. Selain itu dapat pula dihitung perbandingan *COE (cost of energy)* antara pemakaian PV monofasial dan PV bifasial untuk menunjukkan apakah penggunaan PV bifasial dapat menurunkan biaya energi.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui skema hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2022.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Asgharzadeh, A., Lubenow, T., Sink, J., Marion, B., Deline, C., Hansen, C., Stein, J., dan Toor, F. 2017. "Analysis of the Impact of Installation Parameters and System Size on Bifacial Gain and Energy Yield of PV Systems." Sandia National Laboratories Report 2017.
- [2] Asgharzadeh, A., Marion, B., Deline, C., Hansen, C., Stein, J.S., dan Toor, F. 2018. "A Sensitivity Study of the Impact of Installation Parameters and System Configuration on the Performance of Bifacial PV Arrays." *IEEE Journal of Photovoltaics* 8(3), pp.798-805.
- [3] BPPT. 2021. *Outlook Energi Indonesia 2021*. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta, Indonesia.
- [4] Berrian, D., Libal, J., Klenk, M., Nussbaumer, H., dan Kopecek, R. 2019. "Performance of Bifacial PV Arrays with Fixed Tilt and Horizontal Single-Axis Tracking: Comparison of Simulated and Measured Data." *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10, 1109, pp. 1-7.
- [5] Bouchakour, S., Caballero, D.V., Luna, A., Medina, E.R., Boudjelthia, E.A.K., dan Cortes, P.R. 2020. "Monitoring, Modelling and Simulation of Bifacial PV Modules Over Normal and High Albedos." *9th International Conference on Renewable Energy Research and Applications Proceeding*, pp.252-256.
- [6] Deline, C., Pelaez, S.A., Marion, B., Sekulic, B., Woodhouse, M., dan Stein, J. 2019. "Bifacial PV System Performance: Separating Fact from Fiction." *PV Celltech Conference 2019*, pp. 1-42.
- [7] Galluzzo, F.R., Canino, A., Gerardi, C., dan Lombardo, S.A. 2019. "A New Model for Predicting Bifacial PV Modules Performance: First Validation Results." *IEEE 46rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) Proceeding*, pp. 1293-1297.
- [8] Hansen, C., Riley, D., Deline, C., Toor, F., dan Stein, J. 2017. "A Detailed Performance Model for Bifacial PV Modules." Sandia National Laboratories Report 2017.
- [9] Hermann, W., Schweiger, M., dan Bonilla, J. 2017. "Performance Characteristics of Bifacial PV Modules and Power Labeling." *BifiPV2017 Workshop*, pp.1-18.
- [10] Jang, J., dan Lee, K. 2020. "Practical Performance Analysis of a Bifacial PV Module and System." *Energies*, 13, 4389, pp. 1-13.
- [11] Kreinin, L., Karsenty, A., Grobgeld, D., dan Eisenberg, N. 2016. "PV Systems Based on Bifacial Modules: Performance Simulation vs. Design Factors." *IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) Proceeding*, pp. 2688-2691.
- [12] Liang, T.S., Pravettoni, M., Deline, C., Stein, J.S., Kopecek, R., Singh, J.P., Luo, W., Wang, Y., Aberle, A.G., dan Khoo, Y.S. 2019. "A Review of Crystalline Silicon Bifacial Photovoltaic Performance Characterisation and Simulation." *Energy and Environmental Science Journal*, 12, pp. 116-148.
- [13] Saw, M.H., Khoo, S.K., Singh, J.P., dan Wang, Y. 2017. "Enhancing Optical Performance of Bifacial PV Modules." *7th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV Proceeding*, pp. 484-494.
- [14] Shoukry, I., Libal, J., Kopecek, R., Wefringhaus, E., dan Werner, J. 2016. "Modelling of

- ◆ Bifacial Gain For Stand-alone and In-field Installed Bifacial PV Modules." *6th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV Proceeding*, pp. 600-608.
- [15] Yusufoglu, U.A., Lee, T.H., Pletzer, T.M., Halm, A., Koduvelikulathu, L.J., Comparotto, C., Kopecek, R., dan Kurz, H. 2014. "Simulation of Energy Production by Bifacial Modules with Revision of Ground Reflection." *4th International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV Proceeding*, pp. 389-395
- [16] Zulkifli, Wilopo, W., dan Ridwan, K. 2020. "An Analysis of Energy Production of Rooftop on Grid Solar Power Plant on A Government Building (A Case Study of Setjen KESDM Building Jakarta)." *Journal of Physical Science and Engineering (JPSE)*, 4(2), pp. 55-66
- [17] [www.globalsolaratlas.info](http://www.globalsolaratlas.info) diakses pada tanggal 15 Maret 2022.