

Pengaruh air mass matahari terhadap kinerja sel surya (*photovoltaic*) tipe polycrystalline

Mustofa

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Soekarno-Hatta Km. 9, Tondo, Mantikulore, Palu

Email: mustofauntad@gmail.com

ABSTRAK

Banyak parameter yang mempengaruhi kinerja panel *photovoltaic* (PV). Parameter seperti debu, suhu, polusi, kelembaban dan radiasi matahari adalah yang umum. Ada juga parameter lain yang masih jarang diteliti. Parameter ini merupakan pengaruh perubahan spektrum massa udara atau *air mass* (AM) sinar matahari yang mencapai permukaan bumi. Konsep AM adalah pembiasan udara yang mengacu pada panjang gelombang yang melewati pembiasan atmosfer, karena pembiasan atmosfer membelokkan jalur sinar matahari dari atmosfer ke permukaan bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh AM surya terhadap performansi PV tipe *polycrystalline*. AM yang akan dihitung besarnya adalah pada panel PV dengan sudut elevasi 30° dan 40°. Hasil penelitian menunjukkan efek AM terlihat jelas pada arus, tegangan dan penyinaran sinar matahari yang diterima oleh PV, dimana efisiensi tertinggi diperoleh pada AM sekitar 1,5 dan pada sudut 40° dengan efisiensi 10,60%, karena AM 1,5 angka dari pengamatan menunjukkan posisi matahari tepat di atas ufuk. sehingga hamburan cahaya mengenai permukaan PV dengan melihat posisi sudut *zenith* tegak lurus atmosfer. AM 1.5 ini juga digunakan sebagai standar laboratorium dan simulasi untuk penelitian PV.

Kata kunci: *air mass*, arus, PV *polycrystalline*, sudut elevasi, tegangan.

ABSTRACT

Many parameters affect the performance of photovoltaic (PV) panels. Parameters such as dust, temperature, pollution, humidity and solar radiation are common. There are also other parameters that are still rarely studied. This parameter is the effect of changes in the air mass spectrum or air mass (AM) of sunlight reaching the earth's surface. The concept of AM is air refraction which refers to the wavelength that passes through the refraction of the atmosphere, because atmospheric refraction bends the path of sunlight from the atmosphere to the earth's surface. This study aims to determine the effect of solar AM on the performance of polycrystalline PV types. AM that will be calculated is the PV panel with elevation angles of 30 °and 40°. The results showed that the effect of AM was clearly visible on the current, voltage and sunlight received by the PV, where the highest efficiency was obtained at AM around 1.5 and at an angle of 40° with an efficiency of 10.60%, because AM 1.5 is the number of observations. shows the position of the sun directly above the horizon. so that the scattering of light hits the PV surface by looking at the zenith angle position perpendicular to the atmosphere. AM 1.5 is also used as a laboratory and simulation standard for PV research.

Keywords: *air mass*, elevation angle, current, voltage, polycrystalline PV

1. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan teknologi yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Masalah utama dari *Photovoltaic* (PV) adalah besarnya daya keluaran yang dihasilkan relatif tidak konstan karena dipengaruhi oleh besarnya penyinaran matahari. Semakin besar radiasi matahari yang diterima oleh panel maka semakin besar pula kemungkinan daya yang dapat dibangkitkan oleh PV [1]. Nilai irradians yang diterima oleh panel PV umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti letak astronomis dari lokasi pemasangan panel, pergerakan semu harian dan tahunan matahari serta cuaca [2].

Roumpakias, et al. [3] menyatakan bahwa hamburan partikel debu pada permukaan PV maupun yang beterbangan di udara dan uap air, dapat menyebabkan penurunan kinerja pada sensor, faktor tersebut berkaitan dengan *air mass* (AM). Pencemaran partikel pada permukaan PV membuat radiasi matahari yang dihamburkan oleh partikel memiliki distribusi sudut. Semakin rendah ketinggian matahari, semakin tinggi perbedaan antara efisiensi teoritis dan terukur. Perbedaan sudut dan AM harus diperhitungkan dan diukur yang diamati selama sinar matahari cerah dari pagi hingga sore hari yang terkait dengan AM tinggi.

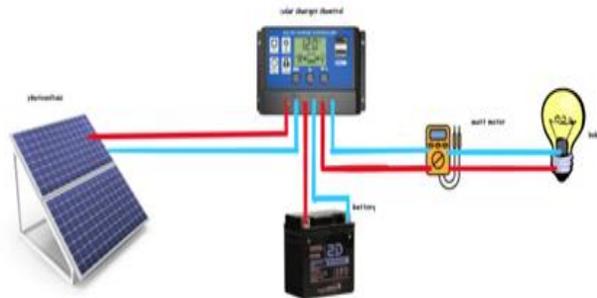
Selanjutnya pada penelitian Bora, et al. [4] pengamatan menggunakan 3 jenis modul panel PV; silikon amorf, HIT dan silikon multi kristal yang menempatkan panel pada ketinggian 28^o menghadap ke selatan, peneliti membandingkan penggunaan daya keluaran PV dengan metode AM dan penyinaran energi surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kesalahan menggunakan parameter standar AM adalah lebih kecil dibandingkan dengan penyinaran matahari ke permukaan modul PV. Studi yang sama digunakan untuk beberapa jenis panel PV komersial. Ini adalah panel kristal tunggal dan silikon multikristalin (Si) serta kristal film tipis (CIS) dan dua persimpangan tunggal perangkat Si amorf, masing-masing ditandai sebagai TJ. Pengaruh massa udara dan waktu matahari pada kinerja jenis panel sel surya di atas dievaluasi selama dua belas bulan di Baghdad [5].

Setahun kemudian, Rida, et al. [6] dalam studi topik yang sama membuktikan bahwa parameter AM berpengaruh terhadap peningkatan kinerja PV. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai AM yang diikuti dengan peningkatan arus pada rangkaian dan kinerja modul [7]. Namun, Alboteanu, et al. [7] hanya dengan simulasi dan validasi dengan tambahan cermin kiri-kanan pada PV untuk menurunkan tingkat radiasi surya, sementara Tira, et al. [8] menggunakan emulator surya dengan cahaya bohlam.

Dari beberapa penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa AM ditentukan oleh sudut elevasi matahari atau secara empiris letak geografis lokasi pengamatan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan di lingkungan kampus Universitas Tadulako Palu yang secara astronomis terletak antara 0^o.36" sampai dengan 0^o.56" LS dan 119^o.45" sampai 121^o.1" BT. Terletak di daerah berbentuk lembah yang dikelilingi oleh pegunungan, sehingga efek AM perlu diselidiki untuk melihat kinerja PV. Parameter lingkungan merupakan faktor yang tidak kalah penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja PV [9]. Parameter lingkungan yang dimaksud adalah angin dan debu di udara, namun fokus penelitian ini adalah nilai AM.

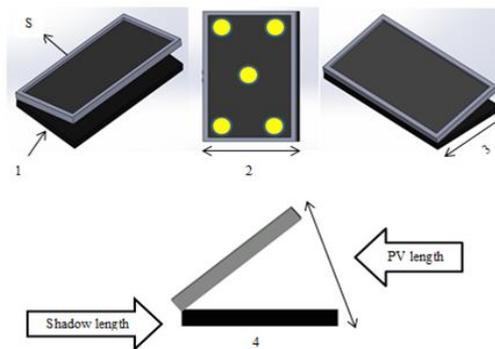
2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di ruang terbuka depan gedung jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako Palu. Letak geografis Palu adalah antara 0^o.36"-0^o.56" LS dan 119^o.45" - 121^o.1" BT. Panel PV tipe *polycrystalline* digunakan dengan daya 50 Wp dan dimensi panel adalah 700 x 510 x 30 mm. Skema pengamatan menggunakan rangkaian seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema diagram pengujian AM PV

Pada Gambar 1, panel surya terhubung ke *solar charge controller* (SCC), baterai dan beban. Daya keluaran panel PV diukur dengan multimeter digital. Penempatan panel mengikuti tata letak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Set-up panel surya pengukuran air mass

Tahap pengumpulan data dimulai dengan menghubungkan komponen alat ukur ke panel surya Polycrystalline dengan sudut elevasi PV 30 dan 40° menghadap matahari di pagi hari. Hal ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Bora, et al. [4] yang hanya menggunakan satu sudut elevasi 28°, penelitian ini membandingkan 2 sudut elevasi panel. Pengukuran suhu PV menggunakan termometer digital inframerah pada 5 titik di permukaan panel surya. Ini memberikan akurasi pengukuran karena dirata-ratakan di semua sisi. Selanjutnya mengukur penyinaran sinar matahari menggunakan *solar power meter* setiap 10 menit dari pukul 09.00 s.d. 15.00. Perhatikan pembiasan sinar matahari berdasarkan bayangan yang tegak lurus terhadap modul PV kemudian ukur panjang bayangan panel sebagai dasar perhitungan AM.

2.1 Perhitungan kinerja PV

Efisiensi photovoltaic dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\eta_{PV} = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \quad (1)$$

dengan:

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$P_{in} = GA_{PV}$$

$$P_{max} = \text{Daya keluaran maks. PV (W)}$$

$$P_{in} = \text{Daya masukan iradians surya (W)}$$

$$V_{oc} = \text{Tegangan hubung terbuka (V)}$$

$$I_{sc} = \text{Arus hubung singkat (A)}$$

$$A_{PV} = \text{Luas permukaan PV (m}^2\text{)}$$

$$G = \text{Iradiasi surya (W/m}^2\text{)}$$

Karakteristik penting lainnya untuk sel surya adalah *Fill Factor* (FF), yang diperoleh dari persamaan (2).

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

dengan:

$$(V_{mp}, I_{mp}) = \text{Titik maks. arus-tegangan [V, A]}$$

2.2 Perhitungan *air mass*

(a) Sudut jam [10]

$$\alpha = \frac{360}{24}(t - 12) \quad (3)$$

dengan:

t = waktu dengan persamaan

$$t = \text{jam} \times 60 + \frac{\text{min}}{60} \quad (4)$$

dengan:

jam = waktu pengumpulan data

min= menit

(b) Sudut Zenith (θ_z)

$$\theta_z = 90^\circ - \varepsilon \quad (5)$$

Untuk mendapatkan nilai ε digunakan persamaan (6).

$$\tan \varepsilon = \frac{\text{lenght of PV}}{\text{legth of shadow}} \quad (6)$$

(c) Persamaan *Air mass*

$$AM1 = \frac{1}{\cos(\theta_z) + 0.50572(96.07995 - \theta)^{-1.6364}} \quad (7)$$

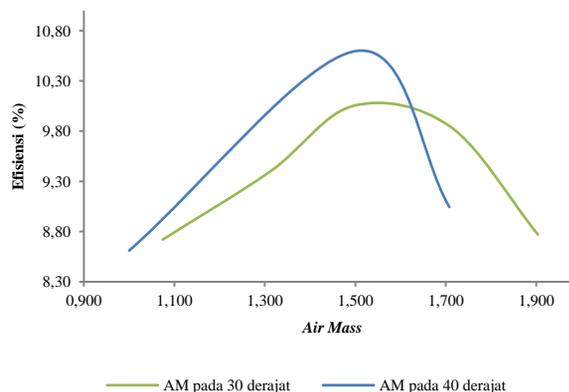
Kasten and Young [9] merevisi perhitungan AM dan menghasilkan persamaan (8).

$$AM2 = \frac{1,002432 \cos^2 z_t + 0,148386 \cos z_t + 0,0096467}{\cos^3 z_t + 0,149864 \cos^2 z_t + 0,0102963 \cos z_t + 0,000303978} \quad (8)$$

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kinerja panel surya tergantung pada banyak faktor seperti massa udara yang berpengaruh pada distribusi spektral yang mencapai Bumi atau permukaan panel surya. Dalam makalah ini kinerja panel sel surya *polycrystalline* dievaluasi dengan mempelajari pengaruh massa udara dan waktu matahari terhadap daya keluaran maksimum selama tiga bulan dari Januari hingga Maret. Dengan menggunakan persamaan (1) sampai (8) dan memasukkan data observasi maka akan diperoleh hasil sebagai berikut. Luas PV 0,3566 m², FF 0,79, P_{in} 421, 163 W, P_{max} 44,64 W, dan η_{PV}=10,60%.

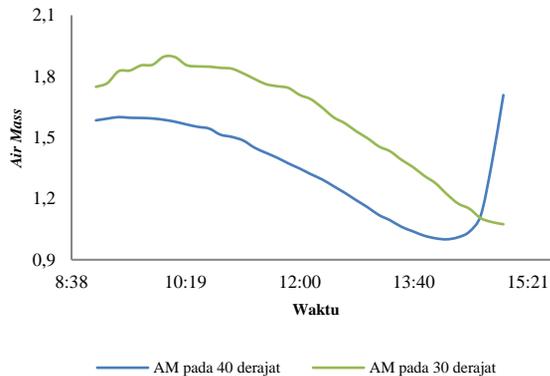
Gambar 3 menunjukkan pengaruh AM terhadap efisiensi, dimana AM 1.5 memiliki efisiensi tertinggi sebesar 10,60% pada sudut kemiringan PV 40°. Jelas bahwa arus yang dihasilkan oleh modul PV lebih besar daripada pada sudut 30°. Hal ini disebabkan perbedaan suhu permukaan PV, dimana suhu PV pada 30° lebih besar dibandingkan yang 40° akibat panjang bayangan PV dari penyinaran surya panel yang menghadap ke selatan tersebut. Perbedaan hari pengambilan data juga menjadi faktor penentu dalam menentukan pengaruh AM terhadap efisiensi karena cuaca berubah setiap hari sehingga penyinaran matahari juga tidak konstan. Hasil ini juga membuktikan perbedaan empiris dengan lokasi pengamatan yang dilakukan oleh Roumpakias, et al. [3], dimana kinerja menurun pada sudut elevasi 45°, tapi tidak dijelaskan sudut persisnya. Kemungkinan perbedaan ini juga terjadi karena tipe PV yang digunakan berbeda. Mereka menggunakan PV *multicrystalline*.



Gambar 3. Kinerja modul PV pada kemiringan 30 dan 40° dalam massa udara

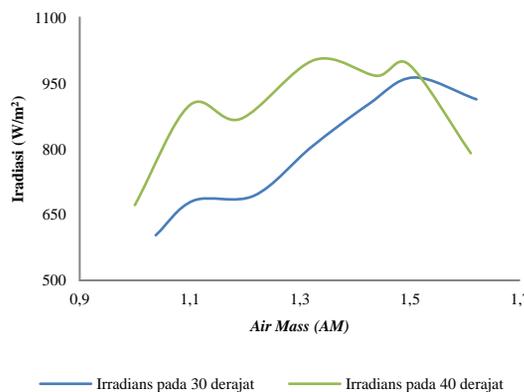
Dengan menggunakan persamaan (8) diperoleh nilai AM1 sebesar 1.503 dan AM2 1.532. Hasil nilai AM1 lebih mudah didapat daripada AM2. Selisih hasil AM1 dan AM2 untuk sudut 40° adalah sekitar 1,2%, sudut dan untuk sudut 30° memiliki perbedaan sekitar 1,28% hingga 1,3%. Namun, nilai AM2 lebih akurat. Gambar 4 menunjukkan tren penurunan kurva nilai massa udara seiring dengan menurunnya sudut zenith matahari di atas kepala. Artinya, sudut bayangan akan berkurang pada objek panel PV. Artinya nilai iradiasi meningkat, tetapi massa udara berkurang.

Nilai AM optimum diperoleh antara pukul 10:50-12:30 dan minimum pada jam 15:00 WITA. Perbedaan waktu AM optimum disebabkan oleh pembiasan cahaya matahari ke PV dan sudut PV yang digunakan. Yang menarik dari kurva ini adalah AM mendekati pukul 15:00-15:21 atau 15:21 pada elevasi PV 30°. Kenaikan nilai massa udara pada pukul sekitar pukul 15:00 disebabkan oleh bertambahnya panjang jatuhnya bayangan PV dibandingkan dengan panjang aktual PV.



Gambar 4. Kaitan antara massa udara dengan waktu matahari untuk Jan, Feb dan Maret pada kemiringan PV 30 dan 40°

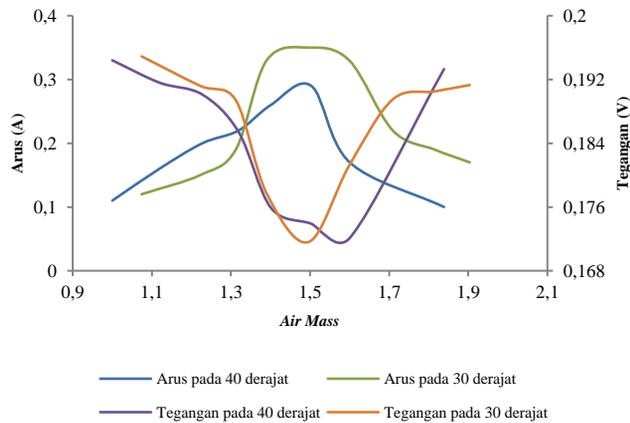
Sementara itu, Gambar 5 menunjukkan hubungan antara AM dan radiasi matahari. Secara umum, radiasi meningkat dengan meningkatnya massa udara. Hal ini terjadi karena posisi matahari mempengaruhi hamburan sinar matahari pada PV dan cuaca. Ada juga perubahan yang tidak konsisten dalam penyinaran sinar matahari yang mungkin disebabkan oleh awan yang menutupi sinar matahari ke permukaan PV. Uniknya, Iradiasi berkurang saat AM di atas 1,5. Kurva penyinaran sedikit berbeda untuk panel kemiringan PV 30 dan 40°, di mana begitu AM mencapai lift sekitar 1,5, elevasi panel 40° segera menurunkan radiasinya. Di sisi lain, panel 30° terus meningkat untuk sementara waktu hingga mulai menurun pada AM 1,55.



Gambar 5. Nilai AM terhadap Iradiasi matahari

Mengenai daya keluaran PV, Gambar 6 menunjukkan bahwa ada peningkatan arus PV dengan setiap peningkatan AM. Arus PV tertinggi diperoleh pada AM 1.5 dengan sudut 30° dengan arus

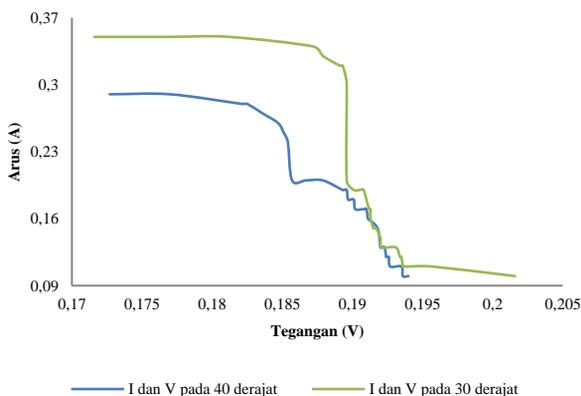
optimum sebesar 0.35 A. Yang menjadikan AM 1.5 lebih baik untuk mendapatkan arus karena pada AM kondisi cahaya matahari tepat di permukaan PV dengan melihat posisinya. dari sudut zenith yang membuat proporsi sinar matahari lebih besar dari AM lainnya.



Gambar 6. Variasi arus dan tegangan dalam massa udara selama 3 bulan

Gambar 6 juga memperlihatkan pengaruh AM terhadap arus dan tegangan yang diterima PV, dimana kenaikan AM diikuti dengan kenaikan nilai arus. Sebaliknya, nilai tegangan yang berwarna orange dan ungu menurun yang disebabkan oleh radiasi yang diterima oleh PV berdasarkan proporsi AM sinar matahari.

Sementara pada Gambar 7 menggambarkan hubungan antara arus dan tegangan pada modul PV, arus dan tegangan cenderung berubah secara konstan, uniknya terdapat perbedaan arus dan tegangan dimana arus berkurang sedangkan tegangan terus meningkat. Ini disebabkan karena adanya penambahan beban pada modul PV dan Iradiasi matahari yang diterima. Fenomena ini juga mempengaruhi arus dan tegangan keluaran PV.



Gambar 7. Besarnya tegangan-arus (voltage-current) PV pada kemiringan 30° dan 40°

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa AM memberikan efek terhadap kinerja PV yang hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan hanya orientasi panel PV terhadap matahari. Efek AM ini tergambar dengan penempatan panel PV pada sudut elevasi 30 dan 40°. AM yang bernilai lebih kecil atau lebih besar dari 1,5 ($AM < 1,5 < AM$) memberikan kinerja panel surya yang rendah. Nilai AM diperoleh pada pukul antara sekitar 09.00 dan 10.00 dan antara 14.00 dan 15.00. Nilai massa udara ini telah memvalidasi bahwa AM 1,5 sesuai dengan kondisi standar untuk pengujian PV. Pengukuran massa udara matahari juga memberikan nilai efisiensi panel PV yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan referensi penyinaran matahari.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Piarah, Z. Djafar, H. Hariyanto, and M. Mustofa, "A New Simulation of Photovoltaic and Thermoelectric Generator Hybrid System with a Beam Splitter Cold and Hot Mirror for Low Intensity," *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, Light Spectrum; Photovoltaic; Thermoelectric Generator; Output Power; Efficiency vol. 13, no. 9, pp. 559-567, 2019, doi: 10.15866/ireme.v13i9.17884.
- [2] A. T. Young, "Air mass and refraction," *Applied optics*, vol. 33, no. 6, pp. 1108-1110, 1994, doi: 10.1364/ao.33.001108.
- [3] E. Roumpakias, O. Zogou, and A. Stamatelos, "Correlation of actual efficiency of photovoltaic panels with air mass," *Renewable Energy*, vol. 74, pp. 70-77, 2015/02/01/2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.07.051>.
- [4] B. Bora, O. S. Sastry, A. Kumar, Renu, and M. Bangar, "Performance modeling of three pv module technologies based on clearness index and air-mass using contour map," in *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 14-19 June 2015 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/PVSC.2015.7356008.
- [5] A. H. Shnishil, S. S. Chid, M. J. Yaseen, and T. J. Alwana, "Influence of Air Mass on the Performance of Many Types of PV Modulus in Baghdad," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 153-159, 2011/01/01/2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.018>.
- [6] K. S. Rida, A. A. Al-Waeli, and K. A. Al-Asadi, "The impact of air mass on photovoltaic panel performance," *Pisco Med Publishing*, vol. 1, no. 1, pp. 1-9, 2016, doi: 10.18282/ser.v1.i1.41.
- [7] I. L. Alboteanu, C. A. Bulucea, and S. Degeratu, "Estimating Solar Irradiation Absorbed by Photovoltaic Panels with Low Concentration Located in Craiova, Romania," vol. 7, no. 3, pp. 2644-2661, 2015. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/3/2644>.
- [8] H. S. Tira, A. Natsir, and M. S. Anwar, "Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycrystalline," *ROTASI*, vol. 19, no. 4, pp. 237-242, 2017.
- [9] F. Kasten and A. T. Young, "Revised optical air mass tables and approximation formula," *Applied Optics*, vol. 28, no. 22, pp. 4735-4738, 1989/11/15 1989, doi: 10.1364/AO.28.004735.
- [10] G. N. Tiwari and S. Dubey, *Fundamentals of photovoltaic modules and their applications*. Royal Society of Chemistry, 2009.