

Estimasi Indeks *Clear-Sky Global Solar Radiation* Menggunakan Model
Hottel dan Liu-Jordan di Jatinangor, Sumedang

*Estimation of the Clear-Sky Global Solar Radiation Index Using the Hottel
and Liu-Jordan Models in Jatinangor, Sumedang*

Septian Ari Kurniawan^{1*}, Mohammad Taufik²

^{1,2}Departemen Teknik Elektro, Universitas Padjadjaran

Jl. Ir. Soekarno km 21, Jatinangor, Kabupaten Sumedang 45363, Jawa Barat

septian.ari.kurniawan@unpad.ac.id^{1*}, m.taufik@unpad.ac.id²

Abstrak – Energi surya dapat berkontribusi untuk memperoleh solusi pada permasalahan pertumbuhan permintaan energi yang pesat. Oleh karena itu, asesmen untuk penilaian potensi energi surya di lokasi tertentu sangat diperlukan. Penelitian ini berfokus pada pengestimasi indeks radiasi global di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky global radiation index/CSGSR*) di Kecamatan Jatinangor ($-6,937^\circ$, $107,781^\circ$), Kabupaten Sumedang guna memberikan kontribusi terhadap pemahaman distribusi radiasi matahari di wilayah tersebut, sehingga dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari. Penelitian ini melibatkan penghitungan transmisi atmosferik untuk radiasi langsung dan terdifusi menggunakan pemodelan Hottel dan Liu-Jordan. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat dua nilai maksimal pada pola CSGSR tiap tahunnya, yakni pada 24 Februari ($979,51 \text{ W/m}^2$) dan 18 Oktober ($969,58 \text{ W/m}^2$), yang mengindikasikan ketersediaan energi surya yang maksimal. Selain itu, terdapat pula satu titik terendah yang terjadi pada 21 Juni ($774,34 \text{ W/m}^2$) akibat titik balik musim panas.

Kata Kunci: *Clear-sky global solar radiation, model Hottel, model Liu-Jordan, energi surya.*

Abstract – Solar energy can contribute to obtaining solutions to the problem of rapid growth in energy demand. Therefore, assessments to assess the potential for solar energy in certain locations are very necessary. This research focuses on estimating the clear-sky global radiation index (CSGSR) in Jatinangor ($-6,937^\circ$, $107,781^\circ$), Sumedang Regency in order to contribute to the understanding of the distribution of solar radiation in the region, so as to optimize the use of solar energy. This research involves calculating atmospheric transmittance for direct and diffuse radiation using Hottel and Liu-Jordan modelling. This research shows that there are two maximum values in the CSGSR pattern each year, i.e. February 24th (979.51 W/m^2) and October 18th (969.58 W/m^2), which indicates maximum solar energy availability. Apart from that, there was also one lowest point which occurred on June 21st (774.34 W/m^2) due to the summer solstice.

Keywords: *Clear-sky global solar radiation, Hottel model, Liu-Jordan Model, solar energy.*

1. Pendahuluan

Energi terbarukan telah mendapatkan peningkatan perhatian yang signifikan akhir-akhir ini, lebih khusus, energi surya, yang mana dapat berkontribusi untuk memperoleh solusi yang tepat pada permasalahan pertumbuhan permintaan energi yang pesat. Oleh karena itu, asesmen untuk penilaian potensi energi surya di lokasi tertentu sangat diperlukan untuk memilih dan merancang sistem energi surya yang akan digunakan, misalnya sistem fotovoltaik (PV) atau kolektor terkonsentrasi [1][2]. Indeks radiasi global (*global radiation*) merupakan faktor yang penting



untuk diestimasi dalam perencanaan dan operasional sistem energi surya, terutama indeks radiasi global di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky global solar radiation index*) [3][4].

Indeks *clear-sky global solar radiation* (CSGSR) dapat diestimasi dengan beberapa metode pemodelan. Pemodelan yang paling umum adalah Model Hottel dan Liu-Jordan. Model Hottel dapat digunakan untuk mengkalkulasi komponen radiasi langsung di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky direct solar radiation*) dan model Liu-Jordan digunakan untuk mengkalkulasi komponen radiasi terdifusi di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky diffuse solar radiation*) [5]-[7].

Model Hottel digunakan untuk mengestimasi nilai rata-rata *clear-sky direct solar radiation* di Jeddah, Arab Saudi. Penulis tersebut menyatakan bahwa nilai rata-rata yang diperoleh menggunakan model Hottel memiliki kesesuaian yang baik dengan data hasil pengukuran langsung [7]. Model Hottel dan model Liu-Jordan juga telah digunakan untuk mengestimasi indeks radiasi global rata-rata bulanan per jam di Yaman [8]. Model Hottel dan Liu-Jordan juga telah digunakan di Kota Qena, Mesir untuk menghitung komponen radiasi langsung di bawah kondisi langit cerah dan komponen radiasi terdifusi di bawah kondisi langit cerah, hasilnya menunjukkan bahwa penghitungan CSGSR memiliki kesesuaian dengan pengukuran langsung [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi indeks CSGSR di Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang menggunakan model Hottel dan Liu-Jordan. Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan tentang distribusi radiasi surya di wilayah tersebut, yang nantinya dapat digunakan untuk optimasi pemanfaatan energi surya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengestimasi nilai CSGSR menggunakan perangkat lunak simulasi MATLAB. Indeks CSGSR yang diestimasi merupakan penjumlahan antara radiasi matahari langsung pada kondisi langit cerah yang diperoleh melalui Model Hottel dan radiasi matahari terdifusi pada kondisi langit cerah yang diperoleh melalui Model Liu-Jordan. Langkah-langkah dalam menentukan indeks CSGSR ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 1.

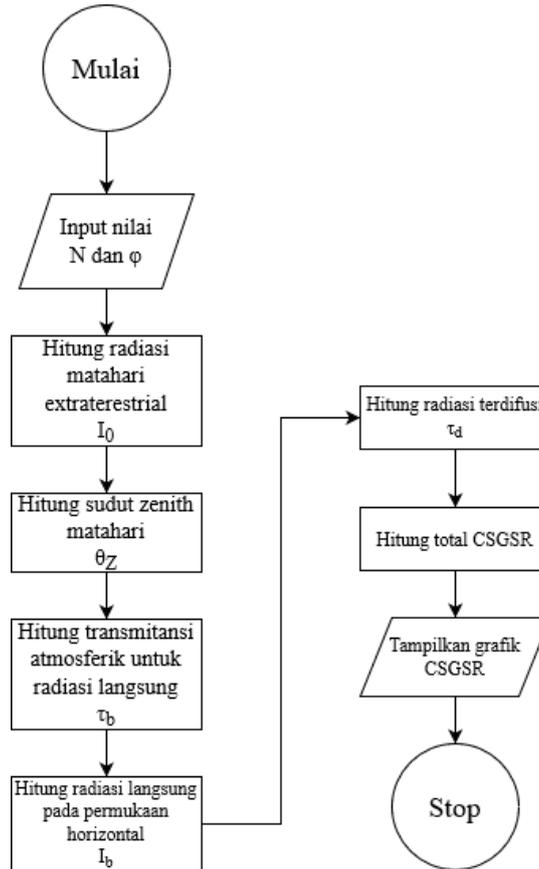
Model Hottel yang digunakan untuk menghitung radiasi matahari langsung pada kondisi langit cerah pada dasarnya menghitung transmitansi atmosferik untuk radiasi matahari langsung (τ_b) sesuai dengan persamaan (1) [5]. Transmitansi atmosferik menunjukkan proporsi radiasi matahari yang tidak diserap atau dihamburkan oleh komponen-komponen atmosfer [9].

$$\tau_b = \frac{I_b}{I_0} \quad (1)$$

di mana, I_b adalah radiasi sinar matahari per jam yang diterima secara tegak lurus terhadap permukaan, dan I_0 adalah radiasi sinar matahari extraterrestrial per jam. Nilai I_0 diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) [5]

$$I_0 = I_{SC} \left[1 + 0,033 \left(\frac{360N}{365,25} \right) \right] \quad (2)$$

I_{SC} adalah konstanta surya, nilainya adalah 1367 W/m^2 . Konstanta surya adalah jumlah energi radiasi matahari yang diterima per satuan luas di atmosfer luar bumi pada bidang yang tegak lurus terhadap sinar matahari [10]. N adalah nomor hari dalam satu tahun, sehingga bervariasi dari 1 sampai dengan 365, sebagai contoh $N=1$ merujuk pada 1 Januari, $N=32$ merujuk pada 1 Februari, dan $N=365$ merujuk pada 31 Desember.



Gambar 1. Flowchart penghitungan CSGSR

Selanjutnya, penghitungan dari model ini adalah penghitungan radiasi langsung pada kondisi langit cerah pada permukaan horizontal dengan menggunakan persamaan (3) [5].

$$I_b = I_0 \tau_b \cos \theta_z \tag{3}$$

di mana θ_z adalah sudut zenit matahari, yang merupakan sudut antara sinar matahari yang datang dan garis yang tegak lurus terhadap permukaan bumi di titik pengamatan. Zenit matahari dipengaruhi oleh lintang lokasi pengamatan (φ), sudut deklinasi matahari (δ), dan sudut jam (ω). Zenit matahari dapat dihitung dengan (4) [5]

$$\cos \theta_z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \tag{4}$$

Kecamatan Jatinangor berada di belahan bumi selatan dengan sudut lintang $6,937^\circ$ lintang selatan, nilai yang dimasukkan ke dalam φ adalah $-6,937$ (tanda negatif menunjukkan posisi lintang selatan). Sudut deklinasi matahari yang merupakan sudut antara sinar matahari dan bidang ekuator bumi. Sudut deklinasi dapat dihitung dengan persamaan (5) [5].

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{284+N}{365} \right) \right] \tag{5}$$

ω adalah sudut jam (*hour angle*), sudut yang mengukur posisi matahari di langit relatif terhadap meridian lokal pengamat. Meridian adalah garis khayal yang membagi langit menjadi belahan timur dan barat. Sudut jam dapat ditentukan dengan persamaan (6) [5].

$$\omega = 15(ST - 12) \quad (6)$$

ST adalah waktu solar (waktu matahari lokal) dalam jam, pada penelitian ini digunakan nilai 12 atau ketika matahari tepat di atas meridian lokal.

Transmitansi atmosferik untuk I_b pada kondisi langit cerah dapat dihitung berdasarkan model Hottel dengan menggunakan persamaan (7) [5].

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{\frac{-k}{\cos\theta_z}} \quad (7)$$

di mana a_0 , a_1 , dan k adalah konstanta-konstanta yang ditentukan menggunakan faktor pengoreksi untuk kondisi iklim yang berbeda sesuai dengan (8) [5].

$$r_0 = \frac{a_0}{a_0^*}; r_1 = \frac{a_1}{a_1^*}; \text{ dan } r_k = \frac{k}{k^*} \quad (8)$$

Nilai-nilai dari r_0 , r_1 , dan r_k untuk lokasi yang berada di iklim tropis dengan ketinggian kurang dari 2,5 km adalah 0,95; 0,98; dan 1,02 secara berturut-turut [6]. Oleh karena itu, persamaan a_0^* , a_1^* , dan k^* dapat diperoleh dengan mengacu pada (9) sampai (11) [5].

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821(6 - A)^2 \quad (9)$$

$$a_1^* = 0,5055 + 0,00595(6,5 - A)^2 \quad (10)$$

$$k^* = 0,2711 + 0,01858(2,5 - A)^2 \quad (11)$$

A adalah ketinggian lokasi pengamat dalam kilometer (km). Nilai ketinggian yang dimasukkan ke dalam variabel ini adalah 765 meter atau 0,765 km.

Model Liu-Jordan, mengacu pada (12) [5], digunakan untuk menghitung komponen radiasi terdifusi pada kondisi langit cerah pada permukaan datar. Radiasi terdifusi ini dihitung berdasarkan rasio radiasi terdifusi terhadap radiasi sinar matahari extraterrestrial pada permukaan datar.

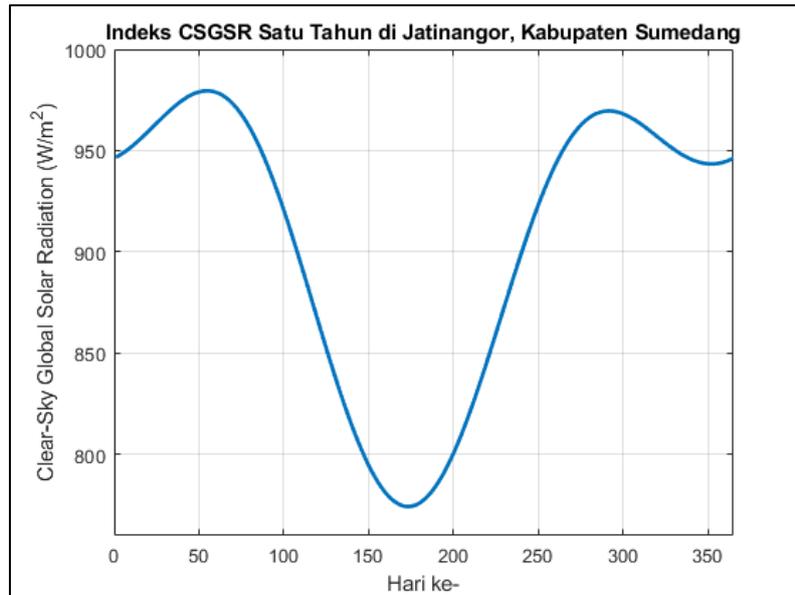
$$\tau_d = 0,271 - 0,294\tau_b \quad (12)$$

τ_d adalah rasio radiasi terdifusi dengan *extraterrestrial beam radiation* pada permukaan datar.

Komponen radiasi langsung dan radiasi terdifusi yang telah diperoleh sesuai dengan model Hottel dan model Liu-Jordan dijumlahkan untuk memperoleh estimasi CSGSR di lokasi penelitian, yakni Kecamatan Jatinangor.

3. Hasil dan Pembahasan

Estimasi indeks CSGSR di Kecamatan Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, telah berhasil disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Grafik CSGSR yang ditunjukkan pada Gambar 2 menunjukkan pola variasi tahunan yang signifikan. Grafik CSGSR tersebut memperlihatkan dua puncak radiasi matahari yang terjadi pada hari ke-55 (24 Februari) dan hari ke-292 (18 Oktober), masing-masing dengan nilai 979,51 W/m² dan 969,58 W/m². Kedua periode ini bertepatan dengan waktu ekuinoks lokal, di mana matahari berada dalam posisi yang hampir tegak lurus terhadap lokasi pengamatan, sehingga menghasilkan intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi di wilayah Jatinangor. Kondisi ini menjadikan kedua waktu tersebut sebagai periode yang paling ideal untuk memanfaatkan energi surya, dengan potensi keluaran energi listrik yang maksimal.



Gambar 2. Grafik CSGSR Jatinangor, Kabupaten Sumedang

Sebaliknya, penurunan radiasi yang signifikan tercatat pada hari ke-173 (21 Juni), di mana radiasi hanya mencapai $774,34 W/m^2$. Penurunan ini disebabkan oleh posisi matahari yang berada di titik balik musim panas (*summer solstice*) atau sedang berada di posisi belahan bumi utara. Oleh karena itu, Jatinangor yang terletak di belahan bumi selatan akibatnya mendapatkan lebih sedikit paparan sinar matahari. Meskipun terjadi penurunan, nilai radiasi yang tercatat masih cukup untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang signifikan. Hal ini berarti sistem tenaga surya di wilayah ini tetap dapat beroperasi dengan efisiensi yang memadai sepanjang tahun. Hal ini juga lah yang menjadi keuntungan wilayah tropis dibandingkan dengan wilayah empat musim.

Analisis ini menunjukkan pentingnya strategi optimasi dalam desain dan pengoperasian pembangkit listrik yang berasal dari energi surya. Penggunaan sistem penyimpanan energi dapat memainkan peran kunci dalam menyimpan surplus energi yang dihasilkan selama periode puncak radiasi untuk kemudian digunakan selama periode radiasi rendah. Penggunaan sistem penyimpanan energi juga dapat digunakan pada *timeframe* yang lebih singkat, seperti penyimpanan energi dalam satu hari agar dapat digunakan pada hari mendung atau malam hari. Penyesuaian orientasi panel surya sesuai dengan posisi matahari juga dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan, terutama selama periode pergeseran posisi matahari yang signifikan. Penggunaan pelacak surya (*solar tracker*) otomatis dapat dipertimbangkan agar penyesuaian orientasi panel surya dapat dilakukan secara otomatis.

Berdasarkan pola CSGSR yang teridentifikasi, pengembangan kebijakan energi yang mendukung penerapan sistem energi terbarukan yang terintegrasi dan berkelanjutan menjadi sangat penting, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan menghadapi tantangan perubahan iklim. Dengan pendekatan yang terintegrasi ini, produksi energi surya di Jatinangor dapat dioptimalkan sepanjang tahun, meskipun terdapat variasi musiman yang signifikan dalam intensitas radiasi matahari.

4. Kesimpulan

Analisis CSGSR di Jatinangor memberikan gambaran terkait variasi ketersediaan radiasi matahari sepanjang tahun, di mana diperoleh potensi tertinggi terjadi pada 24 Februari dan 18 Oktober dengan radiasi secara berturut-turut adalah $979,51 W/m^2$ dan $969,58 W/m^2$. Gambaran ini dapat dijadikan panduan dalam desain dan operasional sistem energi surya untuk memastikan

kinerja optimal sepanjang tahunnya. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan cara memvalidasi radiasi matahari dengan pengukuran langsung dan memasukkan data-data lain terkait cuaca dan iklim. Selain itu, penelitian lanjutan dapat berfokus juga pada pengembangan strategi mitigasi dampak dari penurunan radiasi matahari pada periode tertentu dalam setahun.

Referensi

- [1] G. Frydrychowicz-Jastrzebska and A. Bugała, “Modeling the distribution of solar radiation on a two-axis tracking plane for photovoltaic conversion,” *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1025–1041, 2015, doi: 10.3390/en8021025.
- [2] F. Y. Al-Aboosi, “Models and hierarchical methodologies for evaluating solar energy availability under different sky conditions toward enhancing concentrating solar collectors use: Texas as a case study,” *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 177–205, Jun. 2020, doi: 10.1007/s40095-019-00326-z.
- [3] T. Lealea and R. Tchinda, “Estimation of Diffuse Solar Radiation in the North and Far North of Cameroon,” *European Scientific Journal*, vol. 9, no. 18, pp. 370–381, Jun. 2013.
- [4] S. I. Ao, L. Gelman, D. W. L. Hukins, A. Hunter, A. Korsunsky, and International Association of Engineers, “Comparison of Experimental Data and Isotropic Sky Models for Global Solar Radiation Estimation in Eastern Nigeria,” in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, Jul. 2018, p. 841.
- [5] K. O. Kh, “Estimation of Clear-Sky Global Solar Radiation Using Hottel’s Model and Liu and Jordan’s Model for Qena/Egypt,” *Resources and Environment*, vol. 11, no. 1, pp. 9–17, 2021, doi: 10.5923/j.re.20211101.02.
- [6] A. Okibe and C. Andrew, “Experimental Validation of Hottel’s Transmittance Model for Estimating Beam Radiation In Makurdi Location,” *American Journal of Engineering Research*, vol. 2, no. 8, pp. 51–57, 2013.
- [7] A. Islahi, S. Shakil, and M. Hamed, “Hottel’s Clear Day Model for a typical arid city-Jeddah,” *International Journal of Engineering Science Invention*, vol. 4, no. 6, pp. 32–37, 2015.
- [8] G. M. Abdul Aziz, “Estimation of hourly clear-sky solar radiation for P.D.R. Yemen,” *Solar & Wind Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 255–260, 1990.
- [9] Y. Sun, X. Hu, L. He, S. Zhao, and L. Yan, “Analysis of Atmospheric Transmission Characteristics in MIR Spectrum of VIIRS,” in *4th International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology (ICREET 2016)*, 2017, pp. 289–294.
- [10] S. Milan, “KuaFu: exploring the Sun—Earth connection,” *Astronomy & Geophysics*, vol. 53, no. 4, p. 4.21-4.24, Aug. 2012, doi: 10.1111/j.1468-4004.2012.53421.x.