

Estimasi Intensitas Radiasi Matahari Sesaat dengan Metode Konversi Energi

Gancang Saroja^{1*}, Lailatin Nuriyah¹, Chomsin S. Widodo¹, M.F. Novanata¹

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

Diterima 01 Maret 2018, direvisi 27 Maret 2018

ABSTRAK

Intensitas radiasi matahari memberikan informasi besar energi yang ditransfer oleh matahari persatuan waktu. Informasi tersebut digunakan di banyak sektor untuk kebutuhan perancangan dan perakitan sistem dengan sumber energi matahari. Pengukuran intensitas radiasi matahari secara langsung memerlukan suatu peralatan dan prosedur yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan estimasi besar intensitas radiasi matahari sesaat dengan menggunakan metode konversi energi. Prinsip kerja dari metode yang digunakan adalah menangkap fluks energi radiasi matahari dengan sebuah luasan pelat tembaga hitam kemudian mengekstrak energi tersebut menjadi energi panas pada media fluida air melalui kontak langsung pelat tembaga-air. Besar perubahan temperatur pada fluida diukur sebagai fungsi dari lama waktu paparan radiasi. Nilai intensitas radiasi diperoleh dari penurunan nilai gradient kenaikan suhu yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode konversi energi memberikan nilai intensitas radiasi yang mendekati dengan nilai intensitas radiasi berdasarkan perhitungan formulasi astronomi. Di lokasi eksperimen, pada tengah hari, metode konversi energi memberikan hasil intensitas radiasi matahari sesaat sebesar 1149,63 W/m² dengan selisih sebesar 0,59 % dari hasil perhitungan menggunakan formulasi astronomi.

Kata kunci: Intensitas, radiasi matahari sesaat, konversi energi, pelat tembaga.

ABSTRACT

The intensity of solar radiation provides information of amount energi that is transferred by the sun in a unit time. The information is used in many sectors for designing and assembling systems with solar energi sources. The measurement of the intensity of solar radiation directly requires a complex set of tools and procedures. This study aims to provide an estimate of instantaneous solar radiation by using energi conversion methods. The working principle of the method used is to capture the flux of solar radiation with a piece of black copper plates and then extract the energi into the water medium through direct contact of the water-copper plates. The increase of fluid temperatur is measured as a function of the time duration of radiation exposure. The radiation intensity value is obtained from derivation of the gradient value of the increasing temperatur. The results show that the energi conversion method gives the radiation intensity value matching the radiation intensity value based on the calculation of astronomical formulation. In the location of the experiment, at noon, the energi conversion method gives an instantaneous solar radiation intensity of 1149,63 W/m² with a difference of 0.59% with the calculation result of the astronomical formula.

Keywords: Intensity, instantaneous solar radiation, energi conversion, copper plate

PENDAHULUAN

Intensitas radiasi matahari merupakan

*Corresponding author:
E-mail: saroja@ub.ac.id

ukuran distribusi fluks radiasi per satuan luas pada suatu tempat. Intensitas radiasi memberikan informasi besar energi yang ditransfer oleh matahari persatuan waktu. Informasi distribusi intensitas radiasi matahari yang lengkap dan presisi akan sangat bermanfaat di banyak sektor seperti pertanian, perubahan iklim, kesehatan,

hidrologi, material, oceanografi, fotobiologi, dan energi terbarukan [1,2].

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi intensitas radiasi energi matahari di suatu lokasi di bumi, diantaranya radiasi global (*global radiation*), radiasi hamburan (*diffuse radiation*), radiasi langsung (*direct radiation*), temperatur, kelembaban dan tekanan udara, kecepatan dan arah angin, kecepatan hembusan, presipitasi air, dan massa udara [3]. Radiasi total pada suatu permukaan merupakan hasil kombinasi dari berbagai faktor tersebut. Oleh karena itu, metode yang akurat untuk mengukur intensitas radiasi matahari sangat diperlukan [4].

Secara umum, terdapat tiga metode utama untuk mengukur radiasi matahari di suatu tempat, yaitu (1) arah normal (*direct*) yang diukur dengan sebuah *pyrheliometer*, (2) horisontal global yang diukur dengan sebuah *pyranometer*, dan (3) hamburan yang diukur dengan suatu *pyranometer* tirai [1]. Namun, Pengukuran intensitas radiasi matahari dengan alat-alat tersebut memerlukan suatu prosedur yang kompleks.

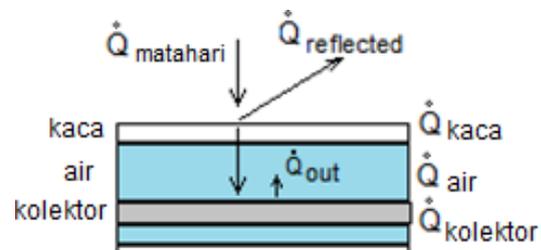
Beberapa metode dikembangkan untuk mendapatkan nilai flux radiasi matahari, baik secara eksperimen maupun dengan pemodelan. Diantara metode pemodelan yang banyak digunakan adalah pemodelan berbasis pada model RayMan. Model tersebut dapat mensimulasikan densitas flux radiasi gelombang pendek dari sembarang permukaan 3 dimensi dengan kelebihan sederhana dan memberikan hasil simulasi dengan densitas flux radiasi yang baik [5]. Namun demikian, model RayMan memerlukan sejumlah data meteorologi dan beberapa data input yang lainnya. Metode lain untuk perhitungan nilai radiasi matahari sesaat yang populer digunakan adalah dengan formulasi astronomi [6]. Metode tersebut dengan lengkap menjumlahkan radiasi langsung, radiasi hamburan, dan flux radiasi pantulan (*reflected radiant*) sehingga menghasilkan nilai total flux radiasi pada suatu permukaan dengan akurat. Namun, formulasi tersebut juga memerlukan sejumlah data-data astronomi matahari dan data geografis wilayah yang diukur.

Oleh karena itu, nilai intensitas radiasi matahari sesaat pada suatu permukaan benda akan diestimasi dengan pendekatan nilai konversi energi pada penelitian ini. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan formulasi astronomi.

METODE PENELITIAN

Konsep pada sistem konversi energi radiasi matahari menjadi energi termal dimana radiasi gelombang pendek ditangkap dan dikoleksi oleh suatu sistem kolektor. Kemudian, energi tersebut diekstrak menjadi energi termal pada suatu media fluida [7–9]. Oleh karena adanya kontak dengan bagian lain dari sistem dan lingkungan, kolektor akan melepaskan panas ke bagian lain dan lingkungan disekitarnya saat terjadi beda temperatur. Mekanisme transfer-panas memainkan peranan yang sangat penting dalam siklus tersebut. Secara fisika, transfer panas diantara dua sistem terjadi sebagai akibat dari gaya penggerak yang disebut “beda temperatur”. Dalam hal ini, panas merupakan suatu bentuk energi yang dapat ditransfer dari suatu sistem ke sistem yang lain sebagai akibat dari beda temperatur ΔT diantara dua sistem. Perpindahan energi dengan melalui mekanisme transfer energi panas terjadi melalui suatu proses mekanik dan listrik. Laju transfer energi panas bergantung pada gradient temperatur, semakin meningkat gradient temperatur maka laju transfer energi panas juga meningkat. Pada dasarnya, panas ditransfer melalui tiga mode yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi [10].

Kolektor radiasi yang digunakan dalam penelitian ini, berada dalam lingkungan tertutup berupa fluida air yang berfungsi juga sebagai wadah energi. Dengan demikian, transfer energi menjadi energi panas hanya terjadi antara plat kolektor dan fluida air. Hal tersebut dapat terjadi oleh karena plat kolektor hanya memiliki kontak langsung dengan fluida air. Prinsip koleksi radiasi matahari oleh kolektor dan proses transfer panas ke fluida air dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi model 1 dimensi dari rancangan sistem konversi radiasi matahari menjadi energi panas.

Berdasarkan model 1 dimensi pada Gambar 1 terdiri dari beberapa lapisan, lapisan paling atas

berupa kaca, kemudian air, dan kolektor. Pada mulanya, sistem dalam keadaan kesetimbangan *thermal* pada temperatur T_0 . Fluks radiasi termal matahari ditangkap oleh kolektor setelah melewati lapisan kaca dan air. Laju energi panas yang diserap oleh kolektor $\dot{Q}_{\text{kolektor}}$, kemudian diekstrak kembali ke air berupa \dot{Q}_{out} melalui mekanisme konduksi dan radiasi. Panas menyebar keseluruhan bagian fluida melalui proses konveksi.

Besaran \dot{Q} merupakan laju absorpsi energi panas pada suatu benda (kolektor) yang besarnya bergantung dari bahan dan luasnya, dinyatakan sebagai berikut.

$$\dot{Q} = I(\tau\alpha) \cdot A \quad (1)$$

Dimana \dot{Q} = laju absorpsi energi panas (W), I = Intensitas radiasi (W/m^2), τ = koefisien transmisi lapisan diatas kolektor, α = koefisien absorpsi kolektor, dan A = luas permukaan benda (m^2).

Ketika kolektor menyerap radiasi matahari, temperaturnya menjadi lebih tinggi dari pada temperatur lingkungannya, dalam hal ini adalah air. Oleh karena itu, panas dilepaskan ke fluida air secara konveksi dan radiasi. Laju panas yang dilepaskan \dot{Q}_{out} bergantung pada koefisien pelepasan panas rerata dari kolektor, temperatur kolektor, dan temperatur air [11].

$$\dot{Q}_{\text{out}} = U_c A (T_c - T_a) \quad (2)$$

Dimana U_c = koefisien pelepasan panas kolektor rata-rata (W/m^2), T_c = temperatur kolektor ($^{\circ}\text{C}$), dan T_a = temperatur air ($^{\circ}\text{C}$).

Laju energi panas yang diekstrak oleh kolektor menggambarkan laju ekstraksi dalam keadaan tunak, dimana besarnya sebanding dengan laju energi yang diserap oleh kolektor. Sehingga, laju ekstraksi panas dari kolektor juga dapat diukur dengan nilai rerata banyaknya panas yang dikandung oleh fluida [11]. Assumsinya yaitu keadaan panas sistem kolektor-air dalam keadaan *steady-state*, maka total energi panas yang diabsorpsi oleh kolektor dalam durasi waktu tertentu sebanding dengan perubahan energi termal pada fluida dan kolektor [12].

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{\text{into collector}} dt = I(\tau\alpha) \cdot A \Delta t \quad (3)$$

$$= m_w c_w \Delta T + m_c c_c \Delta T$$

Dimana m_w = massa fluida air (kg), m_c = massa kolektor (kg), c_w = panas jenis air ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$), c_c = panas jenis kolektor ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$), dan $\Delta T = T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}$ ($^{\circ}\text{C}$).

Berdasarkan persamaan (3), secara analitik

nilai dari intensitas radiasi yang diterima oleh kolektor dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{(m_w c_w + m_c c_c) \Delta T}{\tau \alpha A \Delta t} \quad (4)$$

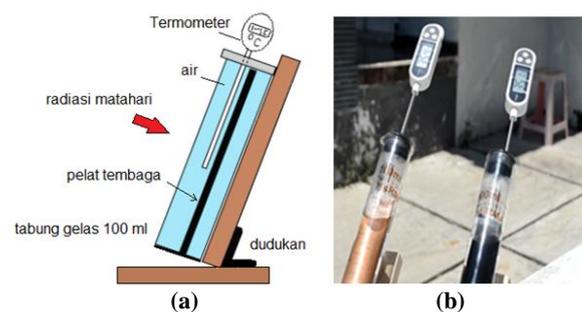
Persamaan (4) dapat diubah bentuknya menjadi suatu persamaan perubahan suhu ΔT sebagai fungsi dari perubahan waktu Δt yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\Delta T = \frac{I \tau \alpha A}{(m_w c_w + m_c c_c)} \Delta t \quad (5)$$

Sesuai dengan persamaan (5), perubahan durasi waktu Δt paparan radiasi matahari pada sistem, akan menghasilkan perubahan suhu ΔT pada fluida. Nilai intensitas radiasi matahari sesaat dapat diperoleh dari penurunan nilai gradient garis yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skema peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2. Bagian-bagian alat berupa tabung gelas 100 ml, pelat tembaga hitam dengan dimensi $18 \times 2,5$ cm berbentuk setengah lingkaran disalah satu ujungnya, termometer digital, serta dudukan yang dapat diatur posisinya. Pengambilan data eksperimen dilakukan pada hari Sabtu, 17 September 2016 pukul 12.11 WIB di wilayah desa Tunggulwulung, Karangploso, Malang. Kondisi saat pengambilan data adalah cuaca cerah. Pelat tembaga diatur menghadap lurus ke arah matahari saat pengambilan data.



Gambar 2. (a) Sketsa 1 dimensi dari desain eksperimen. Dudukan terbuat dari kayu yang dapat diatur posisinya sehingga plat tembaga menghadap arah matahari (b) foto proses pengambilan data

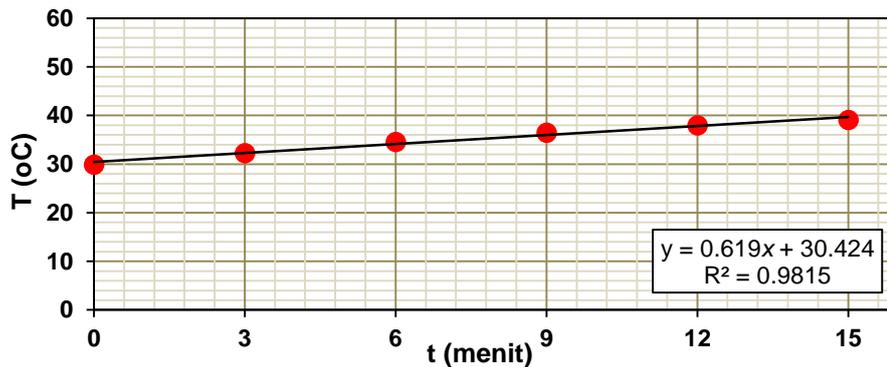
Berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 1 kemudian dibuat grafik kenaikan suhu fluida sebagai fungsi waktu paparan radiasi seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3. Grafik

tersebut menunjukkan suhu air meningkat secara linier seiring dengan durasi waktu paparan dengan karakteristik linearitas yang cukup baik dengan indikasi nilai R^2 sebesar 0,9815. Berdasarkan pada persamaan (5), nilai intensitas radiasi dapat diperoleh dari persamaan nilai gradient grafik. Parameter-parameter hasil pengukuran dan referensi [8,13] dalam eksperimen ini memberikan nilai-nilai untuk $m_c = 1,81 \times 10^{-2}$ kg, $m_w = 0,1$ kg, $c_c = 4200$ (J/kg°C), $c_w = 390$ (J/kg°C), $\tau_{\text{kaca-air}} = 0,91$, $\alpha_{\text{tembaga-hitam}} = 0,95$, $A_{\text{tembaga}} = 4,43 \times 10^{-3}$ m². Hasil perhitungan dengan metode konversi

energi ini memberikan nilai intensitas radiasi matahari sesaat sebesar 1149,63 W/m².

Tabel 1. Data-data hasil pengukuran

No	t (menit)	T (°C)
1	0	29,9
2	3	32,3
3	6	34,6
4	9	36,5
5	12	38,0
6	15	39,1



Gambar 3. Grafik kenaikan suhu fluida air (°C) sebagai fungsi dari durasi waktu paparan radiasi matahari (menit).

Beberapa batasan dalam penelitian ini antara lain intensitas terhitung merupakan intensitas total, baik intensitas langsung, radiasi hamburan, dan radiasi pantulan yang diterima oleh pelat tembaga. Faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai intensitas radiasi juga tidak dilakukan secara spesifik. Kondisi lingkungan pengukuran berupa halaman rumah berupa hamparan lantai keras berbahan semen.

Sebagai komparasi, dilakukan perhitungan nilai intensitas radiasi matahari sesaat pada lokasi dan waktu yang sama dengan menggunakan formulasi astronomi [6]. Perhitungan intensitas dengan formulasi astronomi menggunakan data-data berupa waktu matahari dan geometri matahari.

$$I_E = I_{SC} [1 + 0,333 \cos(0,017204 \cdot DN)] \sin \alpha \quad (6)$$

Dimana nilai dari parameter persamaan I_{SC} adalah konstanta matahari (1367 W/m²), α adalah sudut elevasi, dan DN adalah banyak hari yang dilalui dalam tahun tersebut, dihitung mulai dari 1 Januari.

Besarnya sudut elevasi merupakan fungsi dari garis lintang (*latitude*), sudut deklinasi, dan sudut jam, dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \phi \sin \delta - \cos \phi \cos \omega) \quad (7)$$

Dimana ϕ = lintang, ω adalah sudut jam $15^\circ(LT - 12)$, LT adalah waktu lokal, dan δ adalah sudut deklinasi. Besar sudut deklinasi dinyatakan dalam persamaan (8) berikut,

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + DN) \right] \quad (8)$$

Formulasi astronomi persamaan (6), dilakukan perhitungan besar nilai intensitas matahari sesaat dilokasi pengambilan data eksperimen, yaitu wilayah Tunggulwulung, Karangploso, Malang. Data-data astronomis diwilayah tersebut pada waktu pengambilan data, 17 September 2016 pukul 12.11 WIB berdasarkan persamaan (7) dan (8) adalah sebagai berikut. Nilai dari $\phi = -7^\circ 54' 2,77''$, $LT = 00.11$ pm, $\omega = 1,65^\circ$, $DN = 261$, dan $\delta = -7,4189$.

Hasil perhitungan dengan formula astronomi menunjukkan bahwa besar intensitas radiasi matahari sesaat adalah sebesar 1142,89 W/m². Intensitas radiasi terhitung tersebut merupakan jumlahan dari radiasi langsung, hamburan, dan radiasi pantulan dengan mengasumsikan keadaan langit cerah. Secara teori, intensitas tersebut merupakan intensitas maksimum yang mungkin dalam kondisi alamiah.

Kedua nilai intensitas yang diperoleh dengan dua metode berbeda tersebut kemudian

dikomparasikan. Selisih nilai intensitas yang diperoleh ΔI dinyatakan dalam persen (%), dinyatakan sebagai berikut.

$$\Delta I = \frac{I_{\text{astronomi}} - I_{\text{konv. energi}}}{I_{\text{astronomi}}} \times 100\% \quad (9)$$

Hasil menunjukkan bahwa pengukuran intensitas radiasi matahari sesaat di lokasi eksperimen dengan menggunakan metode konversi energi, sebesar 1149,63 W/m², memberikan nilai yang sangat dekat dengan hasil intensitas hasil perhitungan dengan formulasi astronomi, yaitu sebesar 1142,89 W/m², dengan selisih nilai perbedaan intensitas ΔI hanya sebesar 0,59 %. Nilai intensitas dengan metode konversi energi sedikit lebih tinggi dari intensitas maksimum teori. Beberapa faktor ditengarai mempengaruhi nilai hasil eksperimen, dengan faktor utama adalah faktor lingkungan tempat eksperimen. Kondisi lantai semen yang memiliki koefisien refleksi tinggi dan bangunan perumahan menghasilkan radiasi pantulan yang sangat kuat. Padatnya lingkungan perumahan juga membuat hembusan angin secara alamiah terhalangi. Hal tersebut memberikan akumulasi radiasi yang lebih tinggi dari keadaan lingkungan secara teoritis.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada nilai intensitas radiasi matahari sesaat yang diperoleh dari hasil eksperimen dengan metode konversi energi dan perhitungan dengan formulasi astronomi tersebut, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Metode konversi energi dapat digunakan untuk mengestimasi intensitas radiasi matahari sesaat disuatu lokasi dengan akurasi yang baik
2. Nilai intensitas radiasi matahari sesaat dilokasi eksperimen dengan metode konversi energi adalah sebesar 1149,63 W/m² dengan selisih nilai intensitas hanya sebesar 0,59 % dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan formulasi astronomi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stoffel, T. dan Wilcox, S. (2004) Solar Radiation Measurements: A Workshop For The National Association of State Universities and Land Grant Colleges. National Renewable Energy Laboratory, Midwest Research Institute, United States of America.
- [2] Bohorquez Colombo, A. (2013) Solar Thermal Energy: Let the sunshine in! A renewable source for industrial processes.
- [3] Pandey, C.K. dan Katiyar, A.K. (2013) Solar Radiation: Models and Measurement Techniques. *Journal of Energy*, **2013**, 1–8.
- [4] Alboteanu, I., Bulucea, C. dan Degeratu, S. (2015) Estimating Solar Irradiation Absorbed by Photovoltaic Panels with Low Concentration Located in Craiova, Romania. *Sustainability*, **7**, 2644–61.
- [5] Matzarakis, A., Rutz, F. dan Mayer, H. (2010) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, **54**, 131–9.
- [6] Jiang, C.Y.H. (2014) Estimate Instantaneous Solar Radiation Incident upon Terrain in Bushfire Zone Using Digital Elevation Model and Natural Disaster Forecast. *American Journal of Geographic Information System*, **3**, 45–61.
- [7] Costa, R.P. (2011) Thermal Use of Solar Energy: Solar Thermal Systems & Components (2010) [Internet]. Glob. Sol. Therm. Energy Council.
- [8] Alghoul, M.A., Sulaiman, M.Y., Azmi, B.Z. dan Wahab, M.A. (2005) Review of materials for solar thermal collectors. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, **52**, 199–206.
- [9] Morley, T. (2015) Advantages and Disadvantages of Solar Water Heating Panels [Internet]. Greenpower Technol.
- [10] Tiwari, G.N. dan Sahota, L. (2017) Advanced Solar-Distillation Systems. Springer Singapore, Singapore.
- [11] Nasrin, R., Parvin, S. dan Alim, M.A. (2016) Prandtl Number Effect on Assisted Convective Heat Transfer through a Solar Collector. *An International Journal*, **May**, 22–36.
- [12] Struckmann, F. (2008) Analysis of a Flat-plate Solar Collector. Sweden.
- [13] CIBSE. (2006) Guide A: Environmental Design (CIBSE Guide). Chartered Institution of Building Services Engineers, Wymondham, United Kingdom.