

**PEMODELAN TEORITIK DAYA RADIASI MATAHARI BERBASIS PRINSIP
RADIASI BENDA HITAM MENGGUNAKAN PENDEKATAN NUMERIK
INTEGRASI SIMPSON 3/8**

**THEORETICAL MODELING OF SOLAR RADIATION POWER BASED ON
PRINCIPLES OF BLACKBODY RADIATION USING NUMERICAL
INTEGRATION 3/8 SIMPSON'S RULE**

Sri Oktamuliani^{1*}, Samsidar²

Fakutas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, Jambi
srioktamuliani@gmail.com, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mendalo Darat 36361

ABSTRACT

Theoretical modeling of solar radiation power based on principles of blackbody radiation using numerical integration 3/8 Simpson's rule has done. Simulation is begun by temperature of photosphere calculation, the peak in the electromagnetic radiation emitted has a wavelength, 502.25 nm (yellow). The calculation of spectral intensity is divided by wavelengths of sunlight that enters the earth's surface, like visible light, infrared, and ultraviolet. Computational simulation to determine the total power output of Sun radiation is estimated by using the law of Stefan - Boltzmann and by finding the area under the curve of the spectral intensity using numerical integration 3/8 Simpson's rule which is the approach Lagrange polynomial order 3. The total power of the solar radiation obtained about $3,82076 \times 10^{26}$ W, with percentage infrared radiation about 50.956% ($1,9469 \times 10^{26}$ W), visible light radiation about 36.820% ($1,40682 \times 10^{26}$ W), and 12.225% ($4,67093 \times 10^{25}$ W) for ultraviolet radiation.

Keywords: power, spectral intensity, solar radiation, black body, 3/8 Simpson's rule.

ABSTRAK

Telah dilakukan pemodelan teoritik daya radiasi matahari berbasis prinsip radiasi benda hitam menggunakan pendekatan numerik integrasi simpson 3/8 menggunakan bahasa pemograman matlab. Simulasi diawali oleh perhitungan temperatur permukaan matahari (fotosfer) pada puncak radiasi elektromagnetik yang dipancarkan memiliki panjang gelombang 502,25 nm (kuning). Perhitungan intensitas spektral bervariasi terhadap panjang gelombang sinar matahari yang memasuki permukaan bumi, yaitu cahaya tampak, inframerah, dan ultraviolet. Simulasi komputasi untuk mengetahui keluaran total daya radiasi matahari diestimasi menggunakan hukum Stefan – Boltzmann dan mencari luas daerah di bawah kurva intensitas spektral dengan pendekatan numerik integrasi simpson 3/8 yang merupakan pendekatan polinomial lagrange orde 3. Daya total radiasi matahari diperoleh sebesar $3,82076 \times 10^{26}$ W, dengan persentase radiasi inframerah 50,956% ($1,9469 \times 10^{26}$ W), cahaya tampak 36,820% ($1,40682 \times 10^{26}$ W), dan ultraviolet 12,225% ($4,67093 \times 10^{25}$ W).

Katakunci: daya, intensitas spektral, radiasi matahari, benda hitam, simpson 3/8.

1. PENDAHULUAN

Aktivitas makhluk hidup yang ada di atas permukaan bumi dipengaruhi oleh komponen iklim, salah satunya radiasi matahari. Radiasi matahari merupakan sumber energi yang mempengaruhi gerak atmosfer, proses di dalam atmosfer, dan lapisan permukaan bumi.

Radiasi matahari adalah pancaran partikel yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di matahari. Radiasi matahari berupa radiasi elektromagnetik yang merambat dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel. Radiasi elektromagnetik sebagai gelombang dijelaskan oleh fenomena interferensi, sedangkan radiasi elektromagnetik sebagai partikel dapat dijelaskan dengan menghitung radiasi yang dipancarkan oleh objek panas dimana radiasi disebut dengan foton, besar energi tiap foton adalah [1]:

$$E = hf \quad (1)$$

Benda hitam (*black body*) adalah suatu benda yang menyerap seluruh radiasi elektromagnetik yang jatuh kepadanya dan tidak ada radiasi yang dapat keluar atau dipantulkannya. Itu berarti benda hitam mempunyai harga absorptansi dan emisivitas yang besarnya sama dengan satu. Emisivitas (daya pancar) merupakan perbandingan daya yang dipancarkan per satuan luas oleh suatu permukaan terhadap daya yang dipancarkan oleh benda hitam pada temperatur yang sama, sementara itu absorptansi adalah perbandingan fluks pancaran atau fluks cahaya yang diserap oleh suatu benda terhadap fluks yang tiba pada benda itu [2]. Istilah benda hitam pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan Belanda, Gustav Robert Kirchhoff pada tahun 1862.

Sinar matahari yang memasuki permukaan bumi memiliki berbagai macam panjang gelombang. Sinar tampak berada pada panjang gelombang antara 400 – 700 nm, sinar inframerah pada panjang gelombang di atas 700 nm dan sinar ultraviolet pada panjang gelombang di bawah 400 nm. Jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung pada jarak matahari, intensitas radiasi matahari, panjang hari (*sun duration*), dan pengaruh atmosfer. Atmosfer dipanasi ketika radiasi gelombang panjang dari bumi diserap di atmosfer yang memberikan nilai persentase total radiasi yang dipantulkan oleh permukaan bumi yang disebut albedo.

Matahari bisa sebagai benda hitam, dan total daya yang keluar dari matahari bisa diperkirakan menggunakan persamaan Stefan – Boltzmann, spektrum radiasi matahari terdiri dari sinar gelombang pendek dan sinar gelombang panjang. Sinar yang termasuk gelombang pendek adalah sinar x, sinar gamma, sinar ultraviolet, sedangkan sinar gelombang panjang adalah sinar gamma. Hukum Stefan – Boltzmann menjelaskan bahwa daya total persatuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh suatu

benda hitam panas, I_{total} (intensitas radiasi total), adalah sebanding dengan pangkat empat suhu mutlaknya.

$$I_{total} = \frac{P}{A} = \varepsilon \sigma T^4 \text{ atau } P = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2)$$

dimana ε adalah koefisien emisivitas dari objek. Untuk benda hitam, $\varepsilon = 1$. Ketika $\varepsilon < 1$ objek disebut benda abu-abu dan objek tidak penyerap dan pemancar yang sempurna. T adalah suhu mutlak benda, A adalah luas permukaan benda, dan σ adalah tetapan Stefan – Boltzmann, yaitu $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

Jumlah radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam menurut hukum radiasi Planck dan dinyatakan dalam intensitas spektral R_λ atau R_f ,

$$R_\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{k_B T \lambda}\right) - 1} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot m^{-1}] \quad (3)$$

$$R_f = \frac{2\pi h f^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{k_B T}\right) - 1} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

Daya radiasi per unit permukaan benda hitam, P_A dalam interval panjang gelombang (λ_1, λ_2) atau interval frekuensi (f_1, f_2) ditunjukkan oleh persamaan (5) dan (6)

$$P_A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{k_B T \lambda}\right) - 1} \right) d\lambda \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (5)$$

$$P_A = \int_{f_1}^f R_f df = \int_{f_1}^{f_2} \left(\frac{2\pi h f^3}{c^2} \frac{1}{\exp\left(\frac{hf}{k_B T}\right) - 1} \right) df \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (6)$$

Pada tahun 1893, Wilhelm Wien mengusulkan suatu bentuk umum untuk hukum distribusi benda hitam yang memberikan hubungan panjang gelombang dan temperatur yang sesuai dengan eksperimen. Hukum perpindahan Wien menyatakan bahwa panjang gelombang, λ_{peak} sesuai dengan puncak intensitas spektral yang diberikan oleh persamaan (3) berbanding terbalik dengan suhu dari benda hitam dan frekuensi, f_{peak} untuk intensitas spektral diberikan oleh persamaan (4) sebanding dengan suhu:

$$\lambda_{peak} = \frac{b_\lambda}{T} \quad f_{peak} = b_f T \quad (7)$$

dimana b_λ adalah konstanta Wien untuk panjang gelombang, dan b_f adalah konstanta Wien untuk frekuensi. Puncak dalam persamaan (3) dan (4) terjadi pada bagian yang berbeda dari spektrum elektromagnetik sehingga

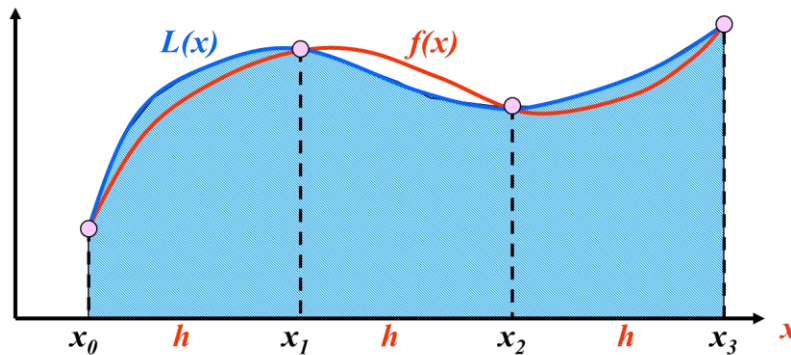
$$f_{peak} \neq \frac{c}{\lambda_{peak}} \quad (8)$$

Hukum perpindahan Wien menjelaskan mengapa radiasi gelombang panjang lebih mendominasi dalam spektrum radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda yang temperaturnya lebih rendah.

Metode numerik adalah suatu teknik memformulasikan masalah matematis sehingga dapat diselesaikan dengan operasi perhitungan. Integrasi numerik merupakan

suatu metode untuk mendapatkan nilai-nilai hampiran untuk beberapa integral tertentu yang tidak dapat diselesaikan secara analitik. Kaidah integrasi numerik diantaranya adalah kaidah Simpson 3/8 yang merupakan pendekatan polinomial lagrange orde 3 [3]. Luas daerah yang dihitung sebagai hampiran nilai integrasi adalah daerah dibawah kurva polinom derajat 3 dengan bantuan 4 buah titik data seperti terlihat pada Gambar 1. Persamaan 9 menjelaskan kaidah simpson 3/8 [4].

$$\int_a^b f(x) dx \approx \sum_{i=0}^3 c_i f(x_i) = c_0 f(x_0) + c_1 f(x_1) + c_2 f(x_2) + c_3 f(x_3) = \frac{3h}{8} [f(x_0) + 3f(x_1) + 3f(x_2) + f(x_3)] \quad (9)$$



Gambar 1. Kaidah Simpson 3/8

Untuk menentukan besarnya daya radiasi matahari per satuan permukaannya seperti persamaan (5) dan (6) sehingga dibutuhkan integrasi numerik, dalam hal ini menggunakan metode Simpson 3/8.

Hasil penelitian radiasi termal dan benda hitam pada perbandingan 4 temperatur berbeda [5] menjelaskan bahwa pemakaian integrasi numerik kaidah Simpson 1/3 menghasilkan data yang cukup akurat dengan analisis secara analitik.

Oleh sebab itu, penelitian dalam bentuk simulasi komputasi ini bertujuan mengetahui besarnya daya pancaran radiasi dari matahari menggunakan integrasi numerik Simpson 3/8 dengan menggunakan bahasa pemograman MATLAB.

2. METODE PENELITIAN

Simulasi komputasi untuk mengetahui keluaran total daya radiasi matahari diestimasi dengan menggunakan hukum Stefan- Boltzmann pada persamaan (2), dan dengan mencari daerah di bawah kurva untuk R_λ dan R_f menggunakan persamaan (5) dan (6). Dari pengamatan di Matahari, puncak dalam radiasi elektromagnetik yang

dipancarkan memiliki panjang gelombang, $\lambda_{peak} = 502,25 \text{ nm}$ (kuning). Suhu permukaan Matahari (fotosfer) dapat diperkirakan dari hukum perpindahan Wien, persamaan (7).

Jarak dari Matahari ke Bumi (R_{SE}) dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur permukaan bumi (T_E) jika tidak ada atmosfer. Intensitas radiasi Matahari mencapai atas atmosfer, I_0 dikenal sebagai konstanta surya,

$$I_0 = \frac{P_s}{4\pi R_{SE}^2} \quad (10)$$

daya yang diserap oleh bumi, P_{Eabs} adalah

$$P_{Eabs} = (1 - \alpha)\pi R_E^2 I_0 \quad (11)$$

dimana α adalah albedo (reflektifitas permukaan bumi). Dengan asumsi bumi berperilaku sebagai benda hitam maka daya radiasi yang dipancarkan dari bumi, P_{Erad} adalah

$$P_{Erad} = 4\pi R_E^2 \sigma T_E^4 \quad (12)$$

Hal ini menjelaskan bahwa suhu permukaan bumi relatif tetap konstan selama berabad-abad, dengan daya yang diserap dan daya yang dipancarkan adalah sama, sehingga suhu keseimbangan bumi adalah [6],

$$T_E = \left(\frac{(1-\alpha)I_0}{4\sigma} \right)^{0,25} \quad (13)$$

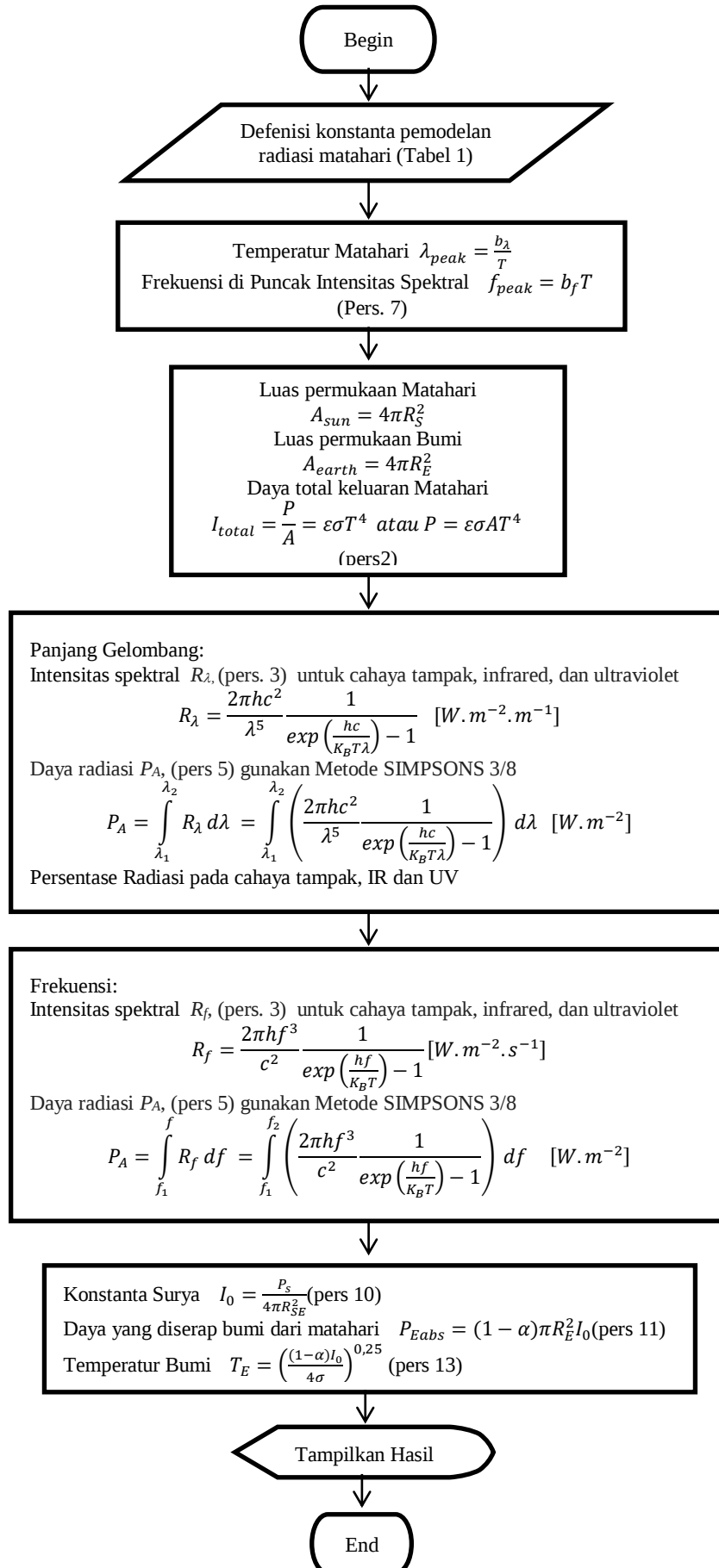
Tabel 1 merupakan ringkasan dari kuantitas fisik, unit dan nilai-nilai dari konstanta yang digunakan dalam deskripsi radiasi dari matahari [7].

Tabel 1. Ringkasan dari kuantitas fisik, unit dan konstanta pemodelan radiasi matahari

Variabel	Interpretasi	Nilai	Unit
H	Konstanta Planck	$6,62608 \times 10^{-34}$	J.s
C	Kecepatan cahaya	$2,99792458 \times 10^8$	m.s ⁻¹
Σ	Konstanta Stefan – Boltzmann	$5,6696 \times 10^{-8}$	W.m ⁻² .K ⁻¹
k_B	Konstanta Boltzmann	$1,38066 \times 10^{-23}$	J.K ⁻¹
b_λ	Konstanta Wien: Panjang gelombang	$2,898 \times 10^{-3}$	m.K
b_f	Konstanta Wien: frekuensi	$2,83 \text{ } k_B T/h$	K ⁻¹ .s ⁻¹
λ_{peak}	Panjang gelombang spektrum surya	$5,0225 \times 10^{-7}$	M
R_S	Radius matahari	$6,93 \times 10^8$	M
R_E	Radius bumi	$6,374 \times 10^6$	M
R_{SE}	Radius matahari – bumi	$1,496 \times 10^{11}$	M
I_0	Konstanta surya	$1,36 \times 10^3$	W.m ⁻²
A	Albedo permukaan bumi	0,30	

Sumber : Krane, Kenneth S. *Modern Physics 3rd ed.* John Wiley & Sons, Inc. 2012 [7].

Gambar 2 memperlihatkan diagram alir pemodelan teoritik daya radiasi matahari pendekatan integrasi numerik simpson 3/8 menggunakan bahasa pemograman MATLAB.

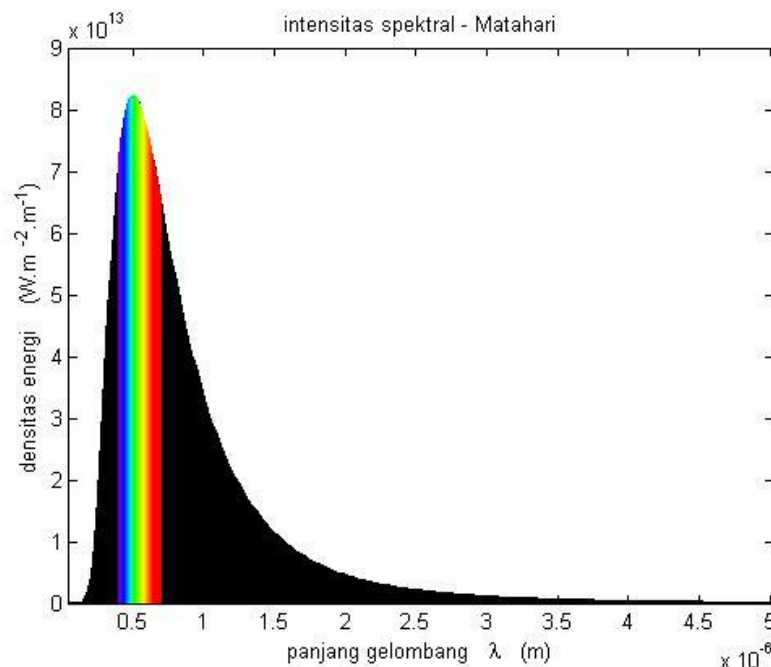


Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan Teoritik Daya Radiasi Matahari

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

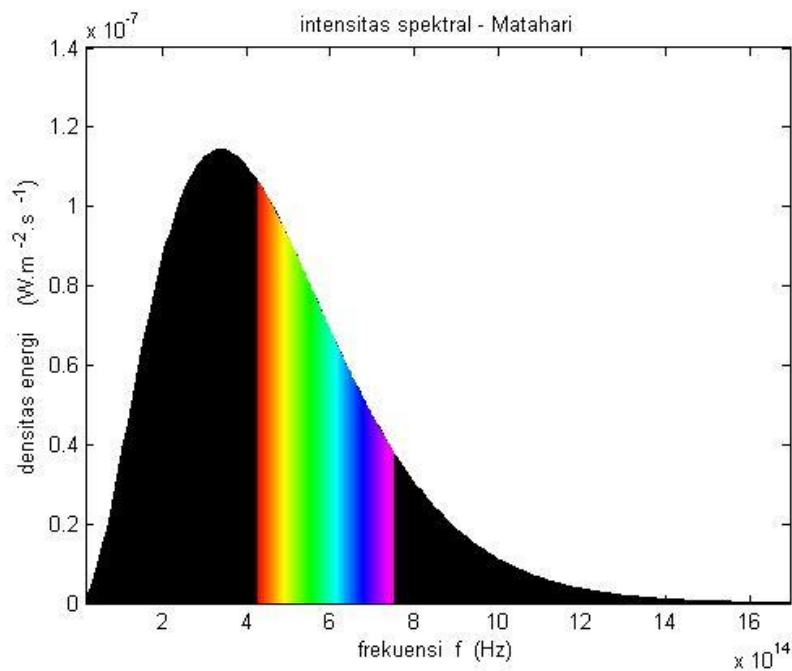
Simulasi komputasi untuk mengetahui daya radiasi matahari menggunakan pendekatan numerik integrasi Simpson 3/8 menghasilkan suhu permukaan Matahari (fotosfer) sekitar 5770 K berdasarkan pendekatan hukum perpindahan Wien dengan asumsi Matahari memancarkan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang kuning, $\lambda_{peak} = 502,25\text{ nm}$. Dengan pendekatan grafik dihasilkan puncak intensitas spektrum pada panjang gelombang $497,77\text{ nm}$ dan dengan frekuensi bersesuaian $6,02 \times 10^{14}\text{ Hz}$.

Gambar 3 menunjukkan kurva antara intensitas radiasi per satuan panjang gelombang yang dipancarkan oleh matahari terhadap panjang gelombangnya. intensitas radiasi lebih besar pada panjang gelombang cahaya tampak dibandingkan daerah ultraviolet dan inframerah.



Gambar 3. Intensitas Spektral Matahari dalam tinjauan Panjang Gelombang

Berdasarkan teori untuk suhu fotosfer sekitar 5770 K diperoleh frekuensi di puncak intensitas spektral adalah $f = 3,39045 \times 10^{14}\text{ Hz}$ dan berdasarkan grafik diperoleh sekitar $f = 3,35824 \times 10^{14}\text{ Hz}$ yang bersesuaian pada panjang gelombang 892 nm . Gambar 4 menunjukkan kurva antara intensitas radiasi per satuan frekuensi.



Gambar 4. Intensitas Spektral Matahari dalam Tinjauan Frekuensi

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa cahaya tampak ungu memiliki panjang gelombang yang pendek dibandingkan merah, dan warna ungu memiliki frekuensi lebih tinggi dibandingkan frekuensi warna merah.

Total daya radiasi yang dikeluarkan oleh Matahari berdasarkan persamaan Stefan – Boltzmann sekitar $3,79265 \times 10^{26} \text{ W}$, sedangkan total daya radiasi berdasarkan luas di bawah kurva dengan pendekatan Simpson 3/8 dapat terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Total Daya Radiasi oleh Matahari

P_total (λ) (W)	P_total (f) (W)	Inframerah		Cahaya Tampak		Ultraviolet	
		P_IR (W)	%	P_visible (W)	%	P_UV (W)	%
$3,820 \times 10^{26}$	$3,791 \times 10^{26}$	$1,946 \times 10^{26}$	50,95	$1,406 \times 10^{26}$	36,82	$4,670 \times 10^{25}$	12,22

Perhitungan numerik memberikan hasil konstanta surya sebesar $1,35855 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ yang merupakan daya total per satuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh Matahari yang sebanding dengan pangkat empat suhu mutlaknya. Konstanta surya dan jarak dari matahari ke bumi menghasilkan perkiraan temperatur permukaan bumi sekitar 254 K dengan albedo $0,3$. Temperatur ini sangat rendah sekali dibandingkan dengan suhu bumi sebenarnya dikarenakan banyak aspek yang diabaikan.

4. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa matahari dianggap sebagai benda hitam, dengan spektrum radiasi matahari terdiri dari sinar gelombang pendek dan sinar gelombang panjang. Matahari memancarkan radiasi elektromagnetik dengan daya total sekitar $3,820 \times 10^{26}$ W, dengan persentase radiasi inframerah 50,956% ($1,9469 \times 10^{26}$ W), cahaya tampak 36,820% ($1,40682 \times 10^{26}$ W), dan ultraviolet 12,225% ($4,67093 \times 10^{25}$ W).

Dalam tinjauan pengelompokan energi, energi radiasi matahari termasuk kepada energi terbarukan. Besarnya daya radiasi dari matahari dapat dimanfaatkan untuk diantaranya pengeringan, penguapan, dan energi listrik. Permasalahan mengenai efek rumah kaca juga merupakan kajian mengenai radiasi benda hitam dari matahari sehingga penelitian ini masih sangat perlu dikembangkan lebih lanjut untuk menganalisis pemanfaatan radiasi matahari.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

1. Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi.
2. Bantuan dana SEMIRATA 2015

6. PUSTAKA

- [1] Beiser, Athur. *Concepts of Modern Physics 6th ed.* Mc Graw Hill, Inc. 2003.
- [2] Isaacs, Alan. *Kamus Lengkap Fisika.* Jakarta: Penerbit Erlangga; 1995.
- [3] Chapra, Steven C. *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientist, 3rd Edition.* Mc.Graw Hill, Inc. 2012.
- [4] Suarga. *Komputasi Numerik – Pemograman MATLAB untuk Metode Numerik.* Yogyakarta: Penerbit Andi. 2014.
- [5] Cooper, Ian. Thermal Physics Blackbody Radiation [internet]. 2005 [cited 2015 Maret 8]. Available from:
http://www.physics.usyd.edu.au/teach_res/mp/doc/tp_blackbody.pdf
- [6] Gueymard C A, Daryl R M. Solar Radiation Measurement: Progress in Radiometry for Improved modeling. *Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface.* Springer, 2008: 1 – 27.
- [7] Krane, Kenneth S. *Modern Physics 3rd ed.* John Wiley & Sons, Inc. 2012.