Energi Penginderaan Jauh / Sifat Dasar Radiasi

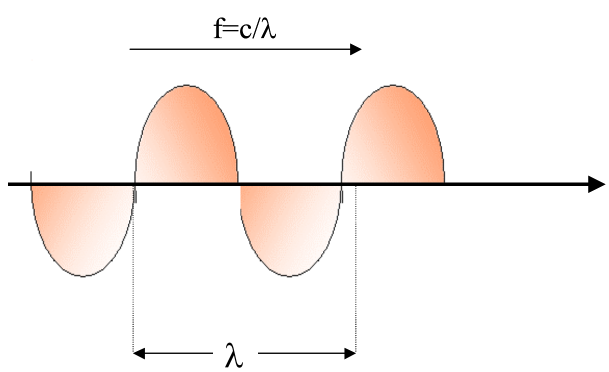
Idung Risdiyanto

Perpindahan energi dari satu tempat ke tempat lain ataupun dari media yang berbeda dapat digolongkan menjadi tiga proses, yaitu : konduksi yang merupakan perpindahan energi kinetik atom atau molekul (heat) melalui kontak antar molekul dengan kecepatan pindah panasnya ditentukan oleh sifat dari molekul. Perpindahan panas ini tidak menyebabkan perpindahan molekul; konveksi adalah perpindahan panas melalui perpindahan fisik molekul gas dan liquid (cair) dan radiasi adalah perpindahan panas melalui jarak tertentu tanpa media penghantar.

Energi penginderaan jauh menggunakan proses radiasi dalam perpindahan energi dari obyek yang diamati dengan sensor satelit. Berdasarkan sumber energinya, penginderaan jauh membedakan satelit menjadi satelit pasif dan aktif. Sebagian besar dari satelit yang digunakan untuk pengamatan cuaca adalah satelit pasif yang menggunakan sumber energi radiasi surya sebagai satu-satunya energi perekaman. Guna memberikan pemahaman terhadap teknik perekaman energi oleh satelit maka digunakan pendekatan energi sebagai gelombang electromagnetik.

Unit Dasar Energi Radiasi

Radiasi elektromagnetik (EM) dalam ruang hampa mempunyai kecepatan yang setara dengan 3.10^{10} $cm.dt^{-1}$ dan sering di notasikan sebagai c. Guna mempermudah pemahaman terhadap radiasi EM, maka digunakan pendekatan gelombang, sehingga radiasi EM juga mempunyai intensitas (frekuensi) dan panjang gelombang. Gelombang EM merupakan gelombang yang bersifat kontinyus dengan bentuk sinusiodal. Gambar 1 menunjukkan frekuensi dan panjang gelombang. Frekuensi (f) adalah jumlah 1 panjang gelombang penuh yang dapat dicapai setiap detik (1/dt atau Hertz). Sedangkan panjang gelombang (λ) adalah panjang jarak (meter) yang dapat ditempuh oleh 1 gelombang penuh (1 puncak + 1 lembah).



Gambar 1. Frekuensi dan panjang gelombang

Jika suatu radiasi mempunyai satu nilai panjang gelombang dan frekuensi tertentu, maka disebut sebagai gelombang monokrom atau gelombang dengan satu warna. Untuk radiasi monokrom, kecepatan (c) gelombangnya digambarkan dengan persamaan (1) berikut :

$$c = f.\lambda = 3 \times 10^{10}\, cm/dt \qquad (1)$$

Meskipun jumlah gelombang telah didifinisikan sebagai frekuensi, namun untuk mendapatkan suatu unit yang dapat memberikan gambaran lebih baik pada saat aplikasi dalam penginderaan jauh (terutama pada spektral infrared) maka digunakan unit jumlah gelombang per 1 cm (v - wavenumber) yang diturunkan dari persamaan (2) berikut :

$$\upsilon = \frac{1}{\lambda}(cm^{-1}) \qquad (2)$$

Berdasarkan unit-unit diatas maka secara relatif ν adalah unit terkecil dari gelombang. Namun demikian dalam penginderaan jauh yang menggunakan gelombang EM dalam kisaran gelombang micro memerlukan suatu konversi nilai dari unit-unit yang digunakan, misalnya panjang gelombang menjadi micronmeter atau Angstrom untuk panjang gelombang yang sangat pendek. Berikut ini adalah konversi unit dari panjang gelombang.

1 A = 10^{-10} m = 10^{-8} m = 10^{-4} μm

1 μm = 10^{-6}m = 10^{-4}cm = 10^{4} A

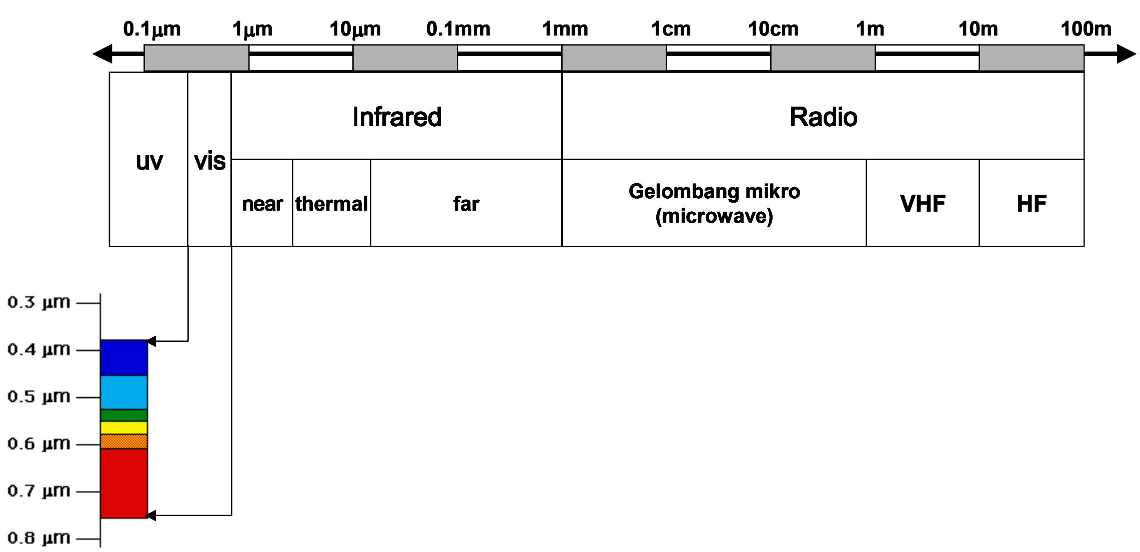
1 cm^{-1} = 3 x 10^{10} Hz = 30 GHz

1 GHz = 10^{9}Hz = 1/30 cm^{-1}

Gambar 1 dan Tabel 1 menjelaskan kisaran dan unit dari gelombang EM yang sering digunakan dalam penginderaan jauh.

Tabel 1. Kisaran gelombang EM

Panjang Gelombang			**Frekuensi**		**Jumlah Gelombang**	**Keterangan**
cm	**μm**	**A**	**Hz**	**GHz**	**cm^{-1}**	
10^{-5}	0.1	1000	$3x10^{15}$			Ultraviolet dekat
$4x10^{-5}$	0.4	4000	$7.5x10^{14}$			Radiasi tampak
$7.5x10^{-5}$	0.75	7500	$4x10^{14}$		13333	Infrared dekat
$2x10^{-3}$	20	$2x10^{5}$	$1.5x10^{13}$		500	Infrared jauh
0.1	10^{3}		$3x10^{11}$	300	10	Gelombang mikro



Gambar 1. Kisaran spektral dan panjang gelombang EM

Pendifinisian Radiasi

Laju perpindahan energi pada proses radiasi EM disebut sebagai radian flux yang merupakan besar laju perubahan energi per unit waktu, dan di notasikan sebagai :

$$F = dQ / dt \qquad (3)$$

Besaran yang digunakan adalah joule/detik atau watts (W), sebagai contoh adalah radian flux dari matahari adalah 3.90 x 10^{26} W. Jika radian flux tersebut berasal atau mengenai suatu media yang mempunyai atau radian flux per unit area disebut sebagai **Irradians** juga sering disebut sebagai densitas dari radian flux. Irradiance dinotasikan sebagai berikut:

$$E = dQ / dt / dA \qquad (4)$$

Dengan besaran yang digunakan adalah watts/ meter persegi (Wm^{-2}). Irradiance dari radiasi EM yang melewati dan diukur pada puncak atmosfer adalah :

$$E(sun\_sfc) = \frac{3.90 \times 10^{26}}{4\pi (7 \times 10^{8})^{2}} = 6.34 \times 10^{7} Wm^{-2}$$

Sedangkan Irradiance matahari yang diterima oleh permukaan atmosfer bumi dapat dihitung dengan suatu pendekatan kesetimbangan energi bahwa energi yang dipancarkan oleh matahari akan sama dengan yang diterima bumi, sebagai berikut :

$$E(earth\_sfc) * 4\pi R_{es}^{2} = E(sun\_sfc) * 4\pi R_{s}^{2}$$

R_{es} adalah jarak rata-rata permukaan atmosfer bumi dengan matahari (1.5 x 10^{11} m) dan R_s adalah radius matahri, sehingga energi yang diterima adalah :

$$E(earth\_sfc) = 6.34 \times 10^{7} \left(\frac{7 \times 10^{8}}{1.5 \times 10^{11}} \right)^{2} = 1380 Wm^{-2}$$

Penggunaan dalam penginderaan jauh, nilai irradiance ini sering dikaji sebagai irradiance per unit panjang gelombang dan disebut sebagai monochromatic irradiance,

$$E_{\lambda} = dQ / dt / dA / d\lambda \qquad (5)$$

dengan unit adalah watts per meter persegi per micrometer. Dengan menggunakan persamaan 5 tersebut maka irradiance untuk semua radiasi EM adalah :

$$E = \int_{0}^{\infty} E_{\lambda} d\lambda \qquad (6)$$

Sifat permukaan bumi yang merupakan bidang lengkung, membuat irradiance yang diterima suatu permukaan akan berbeda dengan permukaan lainnya sesuai dengan koordinat lintang bumi ($d\Omega$) yang merupakan sudut statis penerimaan radiasi matahari. Hal ini menyebabkan variasi penerimaan irradiance, yang jika dihitung merupakan suatu nilai yang tak terbatas karena sifat dari matahari yang juga bergerak relatif terhadap permukaan bumi. Untuk itu perlu digunakan pendekatan tertentu untuk menghitung besar irradiance yang diterima suatu permukaan dengan sudut penerimaan tertentu. Nilai ini disebut sebagai radians. Pendekatan tersebut disajikan dalam persamaan 7,

$$I = dQ / dt / dA / d\lambda / d\Omega \qquad (7)$$

dengan unit yang digunakan adalah watts per meter persegi per micrometer per steradian. Pada beberapa referensi nilai I sering dinotasikan sebagai B dengan mengacu pada fungsi Plank. Pada Tabel 2 ditunjukkan ringkasan pendefinisian radiasi.

Tabel 2. Ringkasan pendefinisian radiasi

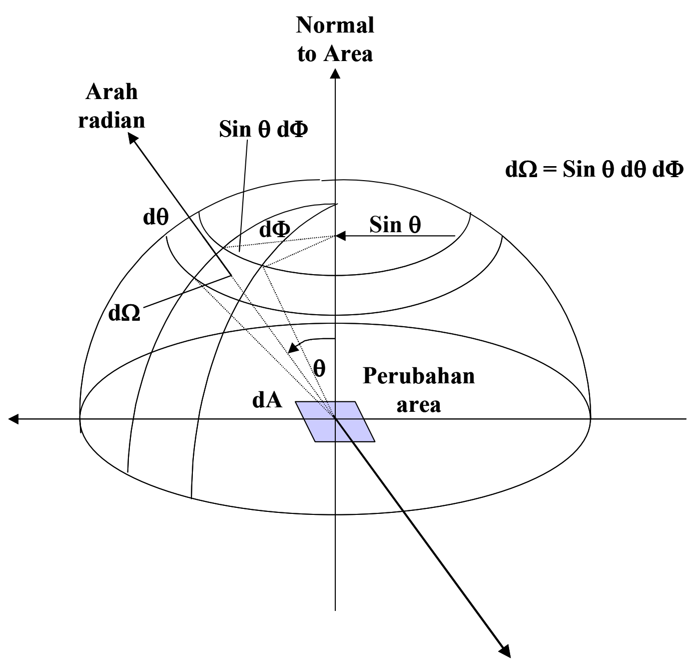
Kuantitas	Simbol/Notasi	Unit
Energi	dQ	Joules
Flux	dQ/dt	Joules/detik = Watts
Irradians	$dQ/dt/dA$	Watts/m^2
Monokromatik Irradians	$dQ/dt/dA/d\lambda$ atau $dQ/dt/dA/d\upsilon$	W/m^2/micron atau W/m^2/cm
Radians	$dQ/dt/dA/d\lambda/d\Omega$ atau $dQ/dt/dA/d\upsilon/d\Omega$	W/m^2/micron /ster atau W/m^2/cm ster

Hubungan antara irradians dengan radians dapat digunakan untuk meghitung nilai irradiance di seluruh permukaan atmosfer bumi dengan memasukkan sudut zenith θ, yaitu sudut yang dibentuk antara garis normal dengan arah radiasi. Irradians menunjukkan combinasi pengaruh komponen garis normal dengan dengan radiasi datang dari seluruh hemisphere (Gambar 1).

$$E = \int_{\Omega} I \cos\theta d\Omega \qquad (8)$$

dimana perubahan koordinat bumi merupakan fungsi dari :

$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi \qquad (9)$$



Gambar 1. Geometri radians

Untuk mengembalikan nilai menjadi radiasi yang tidak tergantung pada sifat lengkung permukaan dan pergerakan relatif matahari terhadap bumi, maka nilai radiasi adalah fungsi dari nilai radians yang terbebas dari besaran arah dan disebut sebagai radiasi isotropic. Fungsi perhitungannya adlah integral terhadap dΩ yang menghasilkan persamaan berikut :

$$E = \pi I \qquad (10)$$

Nilai radians juga sering diekspresikan sebagai per unit frekuensi I(f), per unit panjang gelombang I(λ). Dengan mentransformasikan persamaan perhitungan frekuensi f = c/λ, maka diperoleh hubungan:

$$I(\lambda) = \frac{I(f)c}{\lambda^2} \qquad (11)$$

Penulusuran Hukum Radiasi Plank

Penurunan hukum radiasi Plank dapat ditelusuri dari sifat benda di alam, sebagai benda yang memancarkan energi. Semua benda yang di alam yang mempunyai suhu mutlak diatas 0° K atau setara dengan –273°C akan mempunyai radiasi termal. Sebagai dasar dari pernyataan tersebut adalah hipotesis tentang benda hitam sempurna, yang dicirikan oleh :

- Suatu benda yang akan mengabsorbsi seluruh energi yang diterima dari segala sudut penerimaan.
- Suatu benda yang akan mengemisikan semua energinya ke segala arah dengan seluruh kisaran panjang gelombang yang ada/tak terbatas.

Fakta di alam, hampir semua benda tidak mempunyai kesempurnaan sifat seperti yang digambarkan oleh benda hitam sempurna tersebut. Oleh karena itu pada tahun 1879, berdasarkan suatu pendekatan empiris, Stefan Boltsman memberikan suatu persamaan yang dapat menjelaskan hubungan antara energi dengan suhu benda. Persamaan ini menunjukkan besar emisi dan absorsi energi suatu benda sebagi fungsi dari suhu benda;

$$\begin{aligned} E &= \sigma T^4 \\ \sigma &= 5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} \deg^{-4} \end{aligned} \qquad (12)$$

Pada tahun 1899, Lummer dan Pringsheim membuat suatu percobaan yang menghasilkan spektral emisi untuk suatu benda hitam pada berbagai temperature seperti disajikan pada Gambar 3.

Pendekatan termodinamika ternyata tidak dapat digunakan sepenuhnya untuk menjelaskan hubungan antara energi dan suhu benda dalam proses radiasi. Oleh karena itu Wien (1893) menjelaskan hubungan tersebut dengan menggunakan hubungan antara suhu dan panjang gelombang.

$$I(\lambda) = \frac{f(T\lambda)}{\lambda^5} \qquad (13)$$

Persamaan 13 tersebut menjelaskan bahwa suatu nilai radians yang dipancarkan ataupun yang diabsorbsi suatu benda merupakan fungsi dari suhu benda dan panjang gelombang. Namun Wien tidak dapat menjelaskan bagaimana nilai f(Tλ) dihitung, sehingga pada persamaan 14 berikut muncul suatu konstanta yang akhirnya disebut sebagai konstanta Wien. Persamaan ini menunjukkan bahwa suatu panjang gelombang maksimun energi yang dipancarkan suatu benda berbading terbalik dengan suhu benda.

$$\lambda_{\max} = \frac{const}{T} \qquad (14)$$

Persamaan 13 yang diungkapkan Wien, f(Tλ) kemudian diungkapkan oleh Rayleigh dan Jean (1900) melalui suatu eksperimen yang memasukkan radiasi EM pada suatu titik di permukaan sebuah lempeng logam, selanjutnya dengan menggunakan teori distribusi peluang Boltsman dan menggunakan asumsi bahwa status energi merupakan satu kesatuan maka rata-rata energi total sistem tersebut adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon_{av} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon e^{-\varepsilon/kT} d\varepsilon}{\int_0^\infty e^{-\varepsilon/kT} d\varepsilon} \tag{15}$$

dimana k adalah tetapan Boltzman k =1.381 x 10^{-23} J/deg. Sehingga fungsi f(Tλ) menjadi:

$$f(T\lambda) = 2ck\lambda T \tag{16}$$

Walaupun secara teoritis persamaan 16 dapat menjelaskan f(Tλ), namun persamaan tersebut hanya sesuai untuk eksperimen dengan menggunakan panjang gelombang yang panjang. Pada radiasi monokromatik dengan panjang gelombang pendek nilai tersebut menjadi tidak terhingga. Sehingga persamaan terbut belum cukup untuk menjelaskan radiasi elektromagnetik.

Ketidaksesuaian antara teori dengan eksperimen yang dihasilkan oleh persamaan 16 mulai diperbaiki oleh Plank pada tahun 1901, yang mengemukakan bahwa gelombang electromagnetik bergerak dengan osilasi yang harmonik dan hanya ada dalam kuanta hf (h adalah suatu tetapan dan f adalah frekuensi) serta osilasi emisi energi hanya ada pada status energi yang berubah-ubah. Sehingga rata-rata energi total pada persamaan 15 menjadi :

$$\varepsilon_{av} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} nhfe^{-nhf/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nhf/kT}}$$

$$atau \tag{17}$$

$$\varepsilon_{av} = \frac{hf}{(e^{hf/kT} - 1)}$$

Sehingga persamaan f(Tλ) menjadi,

$$f(T\lambda) = \frac{2hc^2}{(e^{hc/\lambda kT} - 1)} \tag{18}$$

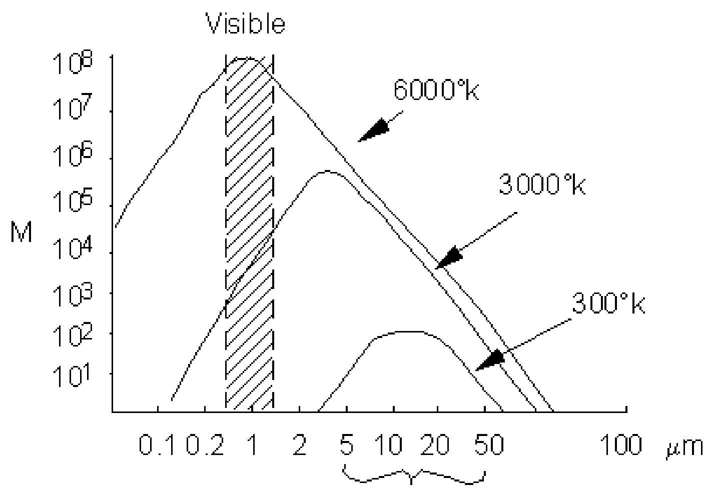
dengan tetapan Plank h = 6.63 x 10^{-34} J.dt

Selanjutnya Hukum Plank untuk intensitas radiasi atau radians monokromatik dituliskan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} B(\lambda, T) &= \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} W/(m^2.ster.cm) \\ c_1 &= 2hc^2 = 1.191044 \times 10^{-34} W/(m^2.ster.cm^{-4}) \\ c_2 &= \frac{hc}{k} = 1.438769 K.cm \end{aligned} \tag{19}$$

Dengan cara penurunan yang sama dengan persamaan 17 dan 18, diperoleh nilai intensitas radiasi atau monokromatik radians dengan menggunakan jumlah gelombang sebagai berikut :

$$B(\upsilon,T)=\frac{c_1\upsilon^3}{(e^{c_2\upsilon/T}-1)} \qquad (20)$$



Hukum-hukum tentang Radiasi

Hukum Plank telah memberikan dasar pemahaman terhadap dualisme energi radiasi sebagai kuanta dan gelombang EM. Terkait dengan hukum ini, maka pembahasan tentang energi penginderaan jauh juga akan membahas persamaan dan hukum-hukum fisika yang terkait dengan radiasi sebagai gelombang ataupun radiasi sebagai kuanta energi.

<u>Hukum Pergeseran Wien (Wien's Displacement Law)</u>

Puncak dari kurva fungsi persamaan Plank pada Gambar… memberikan petunjuk bahwa untuk panjang gelombang pendek memberikan nilai intensitas radiasi yang tinggi dengan peningkatan suhu. Panjang gelombang maksimum suatu gelombang EM yang dihitung berdasarkan fungsi T didapatkan dengan membuat persamaan turunan dari persamaan Plank terhadap λ sama dengan 0. Hasil dari turunan tersebut merupakan persamaan non linear, dan didapatkan :

$$x=5(1-e^{-x}) \qquad (21)$$

dengan x adalah,

$$x=\frac{c_2}{\lambda_{\max}T}$$

sehingga dengan persamaan 21 didapatkan nilai x = 4.965114, sehingga untuk fungsi λ_{max} dan T didapatkan hubungan sebagai,

$$\lambda_{\max}=\frac{0.2897}{T}(cm) \qquad (22)$$

Persamaan 22 tersebut adalah Hukum Pergeseran Wien. Hukum ini mengindikasikan bahwa panjang gelombang maksimum suatu radiasi EM merupakan variasi atau fungsi dari temperature. Berdasarkan persamaan 22 dan jumlah gelombang seperti yang digunakan dalam persamaan Plank (20), maka penurunan dari hubungan tersebut adalah:

$$y = (3 - e^{-y})$$

$$y = \frac{c_2 \upsilon_{\max}}{T} \tag{23}$$

$$\upsilon_{\max} = 1.95 * T(cm^{-1})$$

Persamaan 23 ini juga membuktikan bahwa nilai $\upsilon_{\max} \neq 1/\lambda_{\max}$

Hubungan antara radians Plank dengan panjang gelombang Wien sebagai variasi dari suhu dapat diberikan oleh penurunan persamaan dibawah ini :

$$B\left(\lambda_{\max}, T\right) = \frac{c_1}{\lambda_{\max}{}^5 (e^{c_2/\lambda_{\max} T} - 1)} \qquad (24$$

$$= \frac{c_1 T^5}{0.2897^5 (e^{c_2/0.2897} - 1)}$$

$$= c_3 T^5$$

dengan c_3 adalah nilai konstan. Dengan cara yang sama diturunkan untuk jumlah gelombang,

$$B\left(\upsilon_{\max}, T\right) = c_4 T^3 \tag{25}$$

Salah satu aplikasi dari Hukum Wien ini untuk menghitung nilai radians Plank maksimum dari radiasi permukaan matahari. Dengan mengganggap bahwa nilai suhu mutlak permukaan matahari adalah 5780 K, maka didapatkan nilai panjang gelombang maksimum radiasi matahari yang mampu memberikan radians Plank maksimum terjadi pada panjang gelombang 0.5 μm yang dapat disebutkan sebagai nilai tengah dari spektral radiasi tampak. Dengan fakta ini, maka radiasi matahari akan memberikan energi maksimumnya pada kisaran spektral radiasi tampak (0.3 – 0.7 μm). Sedangkan untuk permukaan bumi dengan suhu permukaan sebesar 255 K memberikan nilai radians Plank maksimum pada panjang gelombang 11μm yang merupakan kisaran radiasi infrared.

<u>Hukum Radiasi Rayleigh-Jeans</u>

Seperti penjelasan pada bagian terdahulu mengenai penulusuran hukum Plank dan persamaan 15 dan 16, pendekatan yang dilakukan oleh Rayleigh-Jeans tidak sesuai untuk panjang gelombang pendek dan sesuai untuk panjang gelombang mikro *(microwave)* dengan nilai λ>0.5 cm. Persamaan-persamaan tersebut dapat digunakan pada kisaran suhu teresterial dengan nilai eksponen dalam persamaan Plank yang kecil, sehingga digunakan pendekatan sebagai berikut:

$$e^{c_2/\lambda T} = 1 + c_2 / \lambda T$$

dan mengasilkan,

$$B(\lambda, T) = \frac{c_1 T}{c_2 \lambda^4} \tag{26}$$

dengan cara yang sama untuk jumlah gelombang,

$$B(\upsilon,T)=\frac{c_1\upsilon^2 T}{c_2} \qquad (27)$$

Persamaan 26 dan 27 merupakan formuka untuk Hukum radiasi Rayleigh-Jeans yang digunakan untuk panjang gelombang λ>0.5 cm dan disebut sebagai kisaran Rayleght-Jeans untuk fisika atmosfer. Dengan hukum ini, maka hubungan antara fungsi Plank dengan suhu merupakan hubungan linier. Pembahasan mengenai dampak dari hukum ini akan dibahas lebih detail pada bagian hamburan.

Hukum Radiasi Wien's

Pada radiasi EM dalam kisaran infrared dekat dan diluar kisaran radiasi EM tampak dan ultraviolet serta nilai T tersterial, nilai eksponen dari fungsi Plank mempunyai nilai yang sangat besar,

$$e^{c_2/\lambda T} \gg 1.0$$

Akibat dari nilai tersebut, konstanta 1.0 dapat diabaikan dalam suatu nilai hasil ekspansi asimtot dari fungsi Plank,

$$B(\lambda,T)=c_1\lambda^{-5}e^{-c_2/\lambda T} \qquad (28)$$

atau

$$B(\upsilon,T)=c_1\upsilon^3 e^{-c_2\upsilon/T} \qquad (29)$$

Persamaan 28 dan 29 adalah hukum radiasi Wien. Oleh karena itu untuk nilai spektral $\lambda<10^{-3}$ disebut sebagai kisaran Wien yang sering digunakan atau dihubungkan dengan suhu atmosfer. Dengan hukum ini, maka suhu mempunyai hubungan non linier dengan fungsi Plank.

Hukum Stefan-Boltzman

Nilai iradians dari benda hitam diperoleh sebagai hasil integrasi antara fungsi Plank atas semua panjang gelombang dan sudut,

$$E=\int_0^\infty E_\lambda d\lambda=\pi\int_0^\infty \frac{c_1 d\lambda}{\lambda^5(e^{c_2/\lambda T}-1)} \qquad (30)$$

jika $x=c_2/\lambda T$,

$$\pi c_1 T^4 \infty x^3 dx$$

$$\pi^5 c_1 T^4$$

$$E=\frac{1}{c_2{}^4}\int_0^\infty \frac{1}{(e^x-1)}=\frac{1}{15c_2{}^4}=\sigma T^4 \qquad (2.31)$$

Berdasarkan pada persamaan 31, maka

$$B(\lambda,T)=\upsilon^2 B(\upsilon,T) \qquad (32)$$

Persamaan 32 sering digunakan untuk mengetahui total radians pada benda hitam secara parsial sampai dengan nilai λ tertentu, yaitu dengan cara:

$$\int_0^\lambda \frac{E_\lambda}{\sigma T^4} d\lambda = \pi \int_0^\lambda \frac{B_\lambda}{\sigma T^4} d\lambda \qquad (32)$$

Suhu pada panjang gelombang tertentu *(Brightness Temperature)*

Salah satu yang dapat diturunkan dalam fungsi Plank adalah nilai suhu suatu benda yang terkait dengan nilai radians pada panjang gelombang tertentu (B_λ). Nilai suhu dihitung dengan menginverskan fungsi Plank,

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln(\frac{c_1}{\lambda^5 B_\lambda} + 1)} = \frac{c_2 \upsilon}{\ln(\frac{c_1 \upsilon^3}{B_\upsilon} + 1)} \qquad (33)$$

Suhu yang didapatkan dari persamaan 33 disebut sebagai suhu pada panjang gelombang tertentu (brigthness temperature) atau dengan kata lain dapat dianggap sebagai suhu suatu permukaan benda/obyek. Berdasarkan persamaan tersebut dengan persamaan 27 dan 29, maka untuk kisaran panjang gelombang Rayleigh-Jeans dapat dituliskan sebagai,

$$T = \frac{c_2}{c_1} \lambda^4 B_\lambda = \frac{c_2}{c_1} \left(\frac{B_\upsilon}{\upsilon^2} \right) \qquad (34)$$

dengan nilai $c_2 / c_1 = 1.208021 \times 10^5$

Sedangkan untuk kisaran Wien adalah

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln\left(\frac{c_1}{\lambda^5 B_\lambda}\right)} = \frac{c_2 \upsilon}{\ln\left(\frac{c_1 \upsilon^3}{B_\upsilon}\right)} \qquad (35)$$

dengan unit B(ν,T) adalah W/(m^2.ster.cm^{-1})

Setelah memahami hukum dan persamaan radiasi yang semuanya bertitik tolak pada hukum Plank, dapat diketahui bahwa setiap kenaikan suhu akan mengakibatkan kenaikan nilai radians. Besar dan variasi dari kenaikan tersebut adalah fungsi dari panjang gelombang dan suhu. Besar perubahan nilai radians yang beralsi dengan besar perubahan suhu disebut sebagai sensivitas suhu *(temperature sensitivity)* yang dinotasikan dengan α, sehingga untuk setiap kisaran panjang gelombang;

$$\frac{1}{B} dB = \alpha \frac{1}{T} dT \qquad (36)$$

Untuk kisaran panjang gelombang infrared didapatkan,

$$\alpha \approx \frac{c_2 \upsilon}{T} = \frac{c_2}{\lambda T}$$

Dengan demikian untuk nilai jumlah gelombang yang tinggi (panjang gelombang pendek) akan mempunyai nilai α yang lebih besar dan sebaliknya untuk jumlah gelombang yang rendah (panjang gelombang panjang) akan mempunyai nilai α yang lebih rendah. Tabel 3 menunjukkan sensitifitas suhu terhadap kisaran spektral/panjang gelombang.

Tabel 3 Sensitifitas suhu terhadap kisaran spektral/panjang gelombang.

Jumlah gelombang (ν)	**Suhu (K)**	**Sensitivitas Suhu**
700	220	4.58
900	300	4.32
1200	300	5.76
1600	240	9.59
2300	220	15.04
2500	300	11.99

Filename:	Energi penginderaan jauh.doc
Directory:	F:\Isi_Blog\Remote Sensing
Template:	C:\Documents and Settings\user\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title:	Energi Penginderaan Jauh
Subject:	
Author:	Idung
Keywords:	
Comments:	
Creation Date:	1/4/2010 10:26:00 AM
Change Number:	2
Last Saved On:	1/4/2010 10:26:00 AM
Last Saved By:	Idung Risdiyanto
Total Editing Time:	3 Minutes
Last Printed On:	1/4/2010 10:28:00 AM

As of Last Complete Printing

Number of Pages:	11
Number of Words:	2,760 (approx.)
Number of Characters:	15,736 (approx.)