

## PERSEMBAHAN

Karya tulis ini penulis persembahkan untuk memenuhi tugas akhir mata pelajaran Fisika. Juga Orang Tua dan Sahabat terbaik saya yaitu "**WIDI**" yang selalu mendukung dalam pembuatan Karya Tulis ini. Terimakasih buat semua orang yang telah menyayangi dan telah memberi banyak inspirasi untuk karya tulis ini sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan.

## MOTTO

Jadilah seperti karang di lautan yang kuat dihantam ombak dan kerjakanlah hal yang bermanfaat untuk diri sendiri dan orang lain, karena hidup hanyalah sekali. Ingat hanya pada Allah apapun dan di manapun kita berada kepada Dia-lah tempat meminta dan memohon.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa tercurahkan kehadiran Allah SWT, karena saya telah berhasil menyusun makalah Fisika tentang **"Fisika Modern dan Radioaktifitas"** Makalah ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Saya menyadari makalah ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan saya, oleh karena itu saya mengharap kritik dan saran yang akan kami terima dengan keikhlasan hati.

Penyusun,

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Jika benda dipanaskan, maka suhu benda akan meningkat dan terlihat cahaya yang berwarna - warni pada permukaannya. Terlihatnya cahaya warna - warni tersebut menunjukkan terjadi radiasi elektromagnetik. Ketika itu fenomena tersebut dikaji dalam bahasan termodinamika dan elektromagnetik. Dalam keadaan setimbang maka benda akan memancarkan cahaya yang tersebar secara merata dalam bentuk spektrum frekuensi dan panjang gelombang yang dikaitkan dengan besaran intensitas daya yang dipancarkan oleh benda hitam seiring dengan perubahan panjang gelombang dan perubahan waktu. Untuk dapat menghitung emisi benda tersebut muncullah konsep benda hitam.

Pada akhir abad ke-19 muncul minat manusia yang sangat besar untuk mengetahui ketergantungan distribusi frekuensi terhadap suhu. Hasil eksperimen telah menunjukkan bahwa distribusi tersebut bergantung pada suhu dan bukan pada komposisi benda yang berpijar. Keadaan ini terjadi pada suatu sistem yang terbuat dari bahan penyerap sempurna dengan rongga-dalam yang dindingnya dipertahankan pada suhu  $T$ . Radiasi dalam rongga tersebut secara konstan diemisi dan diabsorpsi oleh dinding yang dipanaskan tadi. Radiasi dalam model benda yang ideal ini disebut radiasi benda hitam.

Banyak Ilmuan yang mencoba melakukan penelitian dan mengembangkan teori tentang radiasi benda hitam, seperti munculnya teori Stefan-Boltzman, Hukum pergeseran Wien, hingga Teori Planck dan Hukum Rayleigh-Jeans untuk itu kita akan

mempelajarinya dalam makalah ini.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

1. Apa yang dimaksud Radiasi Benda Hitam?
2. Bagaimana penjelasan Hukum Stefan-Boltzmann mengenai Radiasi Benda Hitam?
3. Bagaimana penjelasan Hukum Pergeseran Wien mengenai Radiasi Benda Hitam?
4. Bagaimana Penjelasan Teori Planck mengenai Radiasi Benda Hitam?
5. Bagaiman penjelasan Hukum Rayleigh-Jeans mengenai Radiasi Benda Hitam?

## **1.3 TUJUAN PENULISAN**

1. Mendeskripsikan Radiasi Benda Hitam
2. Menjelaskan Hukum Stefan-Boltzman
3. Menjelaskan Hukum Pergeseran Wien
4. Menjelaskan Teori Planck
5. Menjelaskan Hukum Rayleigh-Jeans

## BAB 2

### PEMBAHASAN

#### 2.1. PENGERTIAN BENDA HITAM

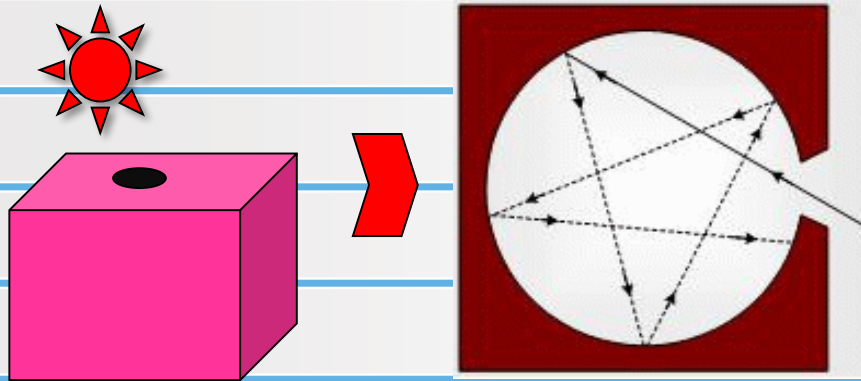
Benda hitam didefinisikan sebagai sebuah benda yang menyerap semua radiasi yang datang padanya. Dengan kata lain, tidak ada radiasi yang dipantulkan keluar dari benda hitam. Jadi, benda hitam mempunyai harga absorptansi dan emisivitas yang besarnya sama dengan satu.

Seperti yang telah kalian ketahui, bahwa emisivitas (daya pancar) merupakan karakteristik suatu materi, yang menunjukkan perbandingan daya yang dipancarkan per satuan luas oleh suatu permukaan terhadap daya yang dipancarkan benda hitam pada temperatur yang sama. Sementara itu, absorptansi (daya serap) merupakan perbandingan fluks pancaran atau fluks cahaya yang diserap oleh

suatu benda terhadap fluks yang tiba pada benda itu.

Benda hitam ideal digambarkan oleh suatu rongga hitam dengan lubang kecil. Sekali suatu cahaya memasuki rongga itu melalui lubang tersebut, berkas itu akan dipantulkan berkali-kali di dalam rongga tanpa sempat keluar lagi dari lubang tadi. Setiap kali dipantulkan, sinar akan diserap dinding-dinding berwarna hitam. Benda hitam akan menyerap cahaya sekitarnya jika suhunya lebih rendah daripada suhu sekitarnya dan akan memancarkan cahaya ke sekitarnya jika suhunya lebih tinggi daripada suhu sekitarnya. Hal ini ditunjukkan pada gambar dibawah. Benda hitam yang dipanasi sampai suhu yang cukup tinggi akan tampak membara.





*Gambar 1.1 Benda hitam yang dipanasi sampai suhu yang cukup tinggi akan tampak membara.*

**KLIK 2X PADA HALAMAN INI UNTUK  
MEMBUKA SIMULASI PAKU YANG DILELEHKAN**

**KLIK TOMBOL "start" UNTUK MEMULAI VIDEO**

## 2.2. INTENSITAS RADIASI BENDA HITAM.

Radiasi benda hitam adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh sebuah benda hitam.

Radiasi ini menjangkau seluruh daerah panjang gelombang. Distribusi energi pada daerah panjang gelombang ini memiliki ciri khusus, yaitu suatu nilai maksimum pada panjang gelombang tertentu. Letak nilai maksimum tergantung pada temperatur, yang akan bergeser ke arah panjang gelombang pendek seiring dengan meningkatnya temperatur.

### 2.2.1. Hukum Stefan-Boltzmann

Pada tahun 1879 seorang ahli fisika dari Austria, Josef Stefan melakukan eksperimen untuk mengetahui karakter universal dari radiasi benda hitam. Ia menemukan bahwa daya total per satuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh suatu benda hitam panas (intensitas total) adalah

sebanding dengan pangkat empat dari suhu mutlak-nya. Sehingga dapat dirumuskan :

$$I = \sigma T^4 \quad (1)$$

dengan :

$I$  = intensitas radiasi pada permukaan benda hitam pada semua frekuensi

$T$  = suhu mutlak benda (K)

$\sigma$  = tetapan Stefan-Boltzman, yang bernilai  $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ .

Total energi tiap satuan volume suatu lingkungan tertutup dengan temperatur tetap diperoleh dengan melakukan integrasi .

$$E = \int_0^{\infty} E(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{8\pi hc d\lambda}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (2)$$

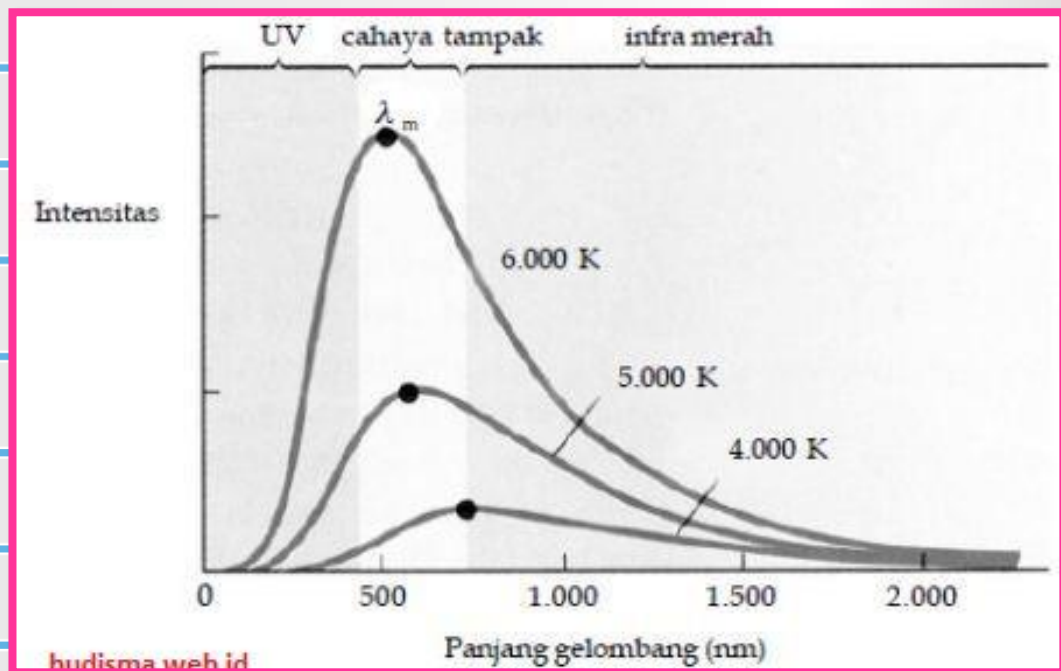
$$\begin{aligned}
 &= \frac{8\pi h}{c^3} \left( \frac{kT}{h} \right)^4 \int_0^\infty \frac{t^3 dt}{e^t - 1} \\
 &= \left( \frac{8\pi^5 k^4}{15h^3 c^3} \right) T^4
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\int_0^\infty \frac{t^3 dt}{e^t - 1} = 6 \sum_{n=1}^\infty \frac{1}{n^4} = \frac{\pi^4}{15}
 \tag{4}$$

$$E_{rad} = \frac{c}{4} E = \sigma T^4
 \tag{5}$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2}
 \tag{6}$$

Hukum Stefan Boltzman dalam persamaan (5) menggambarkan bagaimana kalor dirambatkan secara radiatif tanpa penghantar medium, sebagaimana medium diperlakukan pada peristiwa konduksi atau konveksi.



*Gambar 2.1 Grafik antara intensitas radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda hitam terhadap panjang gelombang pada berbagai suhu.*

Total energi kalor radiasi yang dipancarkan adalah sebanding dengan luas di bawah grafik. Tampak bahwa total energi kalor radiasi radiasi meningkat dengan meningkatnya suhu ( menurut Hukum Stefan-Bolztman). Energi kalor sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak.

Untuk kasus benda panas yang bukan benda hitam, akan memenuhi hukum yang sama, hanya diberi tambahan koefisien emisivitas yang lebih kecil daripada 1, sehingga :

$$I_{total} = e \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (7)$$

Intensitas merupakan daya per satuan luas, maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai:

$$\frac{P}{A} = e \sigma T^4 \quad (8)$$

dengan,

$P$  = daya radiasi (W)

$A$  = luas permukaan benda ( $\text{m}^2$ )

$e$  = koefisien emisivitas

$T$  = suhu mutlak (K)

Beberapa tahun kemudian, berdasarkan teori gelombang elektromagnetik cahaya, Ludwig Boltzmann (1844 - 1906) secara teoritis menurunkan hukum yang diungkapkan oleh Joseph Stefan (1853 - 1893) dari gabungan termodinamika dan persamaan-persamaan Maxwell. Oleh karena itu, persamaan diatas dikenal juga sebagai Hukum Stefan-Boltzmann, yang berbunyi:

*"Jumlah energi yang dipancarkan per satuan permukaan sebuah benda hitam dalam satuan waktu akan berbanding lurus dengan pangkat empat temperatur termodinamikanya".*

### 2.2.2. Hukum Pergeseran Wien.

Spektrum radiasi benda hitam di selidiki oleh Wien, menurut Wien, jika dipanaskan terus, benda hitam akan memancarkan radiasi kalor yang puncak spektrumnya memberikan warna-warna tertentu. Warna spektrum bergantung pada panjang gelombangnya, dan panjang gelombang ini akan bergeser sesuai suhu benda.

Jika suatu benda dipanaskan maka benda akan memancarkan radiasi kalor, pada suhu rendah radiasi gelombang elektromagnet yang dipancarkan intensitasnya rendah, pada suhu yang lebih tinggi dipancarkan sinar inframerah walaupun tidak terlihat tetapi dapat kita rasakan panasnya, pada suhu lebih tinggi lagi benda mulai berpijar merah ( $\pm 1000^{\circ} \text{C}$ ), dan berwarna kuning keputih-putihan pada suhu  $\pm 2000^{\circ} \text{C}$ .



Wien merumuskan bahwa panjang gelombang pada puncak spektrum ( $\lambda_m$ ) berbanding terbalik dengan suhu mutlak benda, sesuai persamaan :

$$\lambda_m = T \cdot C \quad (9)$$

dimana :

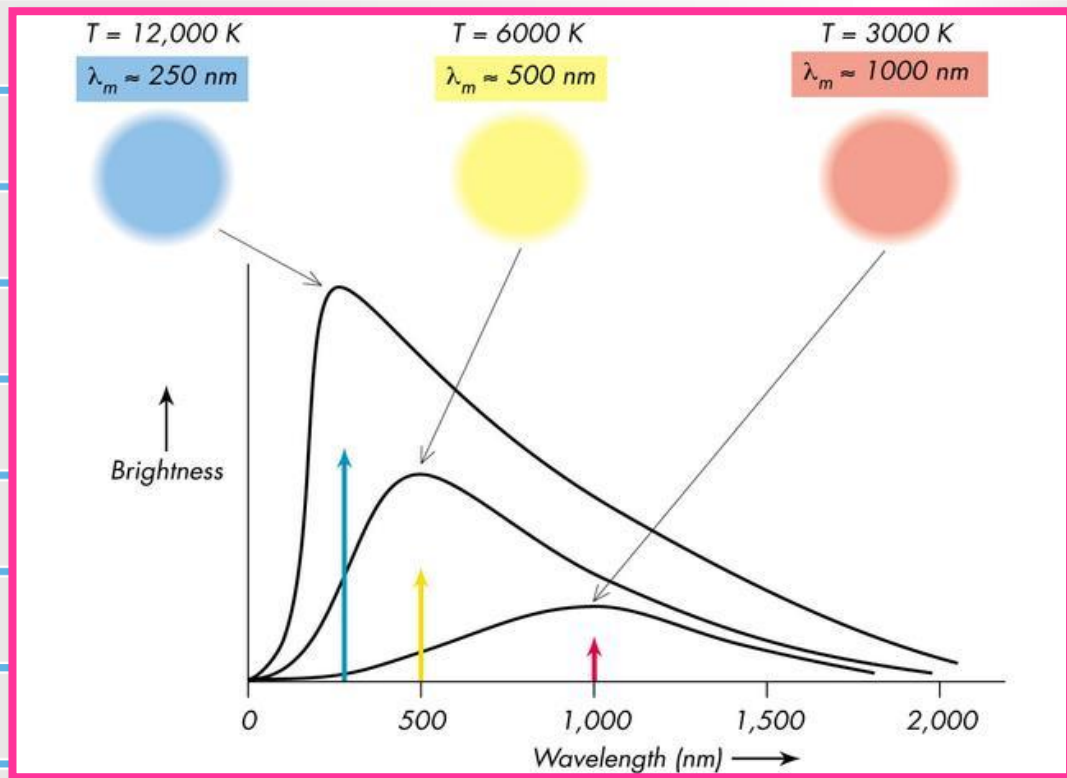
$\lambda_m$  = panjang gelombang pada energi pancar maksimum ( m )

T = suhu dalam K

C = tetapan pergeseran Wien  $2,898 \times 10^{-3}$  m. K

*Intensitas Radiasi Benda Hitam terhadap Panjang Gelombang*

*(Gambar a)*

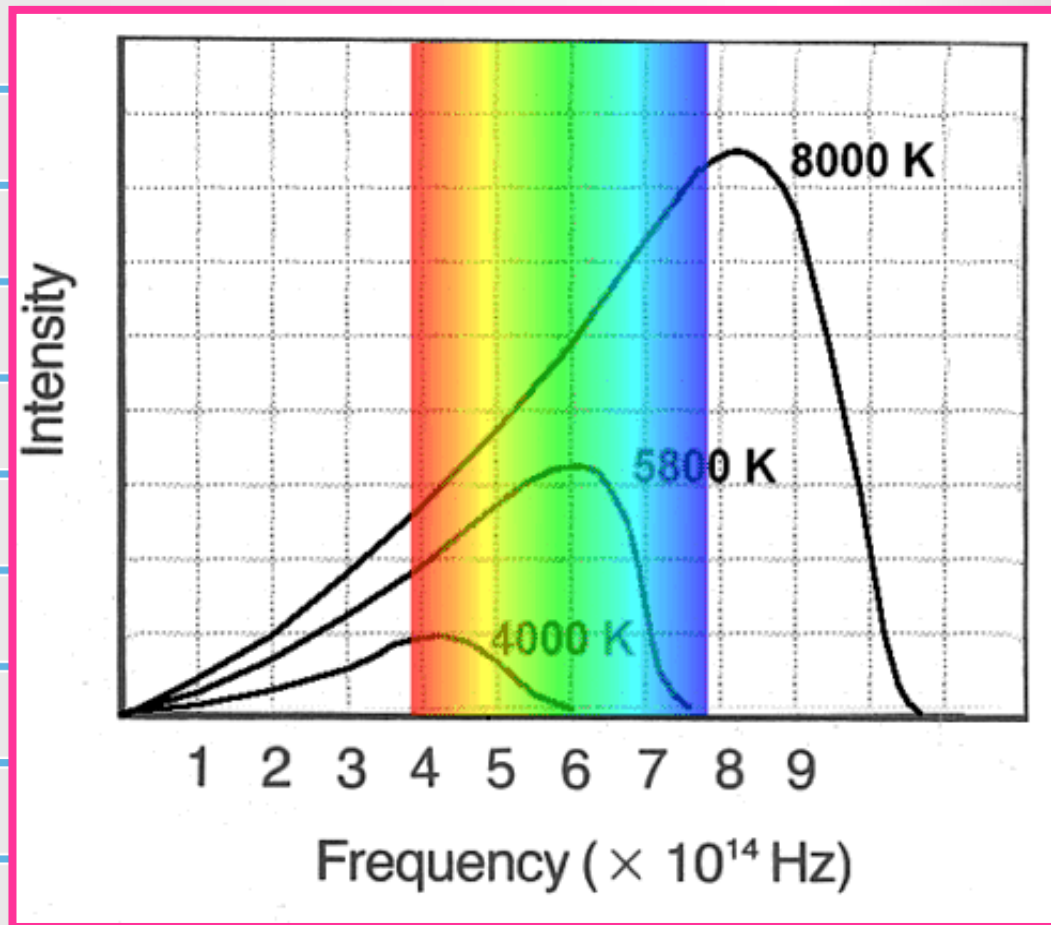


**KLIK 2X PADA HALAMAN INI UNTUK  
MEMBUKA SIMULASI RADIASI BENDA HITAM**

**GESER "Temperatur" UNTUK MEMULAI VIDEO**

## Intensitas Radiasi Benda Hitam terhadap Frekuensi

(Gambar b)



Gambar 1.2 Kurva kenaikan temperature benda hitam

Dari kurva di atas, terbaca bahwa dengan naiknya temperatur benda hitam, puncak-puncak spektrum

akan bergeser ke arah panjang gelombang yang semakin kecil (*gambar a*) atau puncak-puncak spektrum akan bergeser ke arah frekuensi yang semakin besar (*gambar b*).

Perhitungan energi radiasi Wien berlaku untuk gelombang pendek. Teori ini selanjutnya dikembangkan oleh Reyleigh dan Jeans yang berlaku untuk panjang gelombang yang lebih panjang. Menurut teori medan listrik-magnet, gelombang elektromagnet di emisikan oleh osilator muatan-muatan listrik. Bilamana osilaator-osilator dalam kesetimbangan dengan radiasi dalam benda hitam, maka rapat energi radiasi persatuan volume adalah :

$$E(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} u(\nu)$$

dimana, (10)

$u(\nu)$  = energi rata-rata osilator dengan frekuensi  $\nu$

Hukum energi ekipartisi adalah energi rata-rata itu adalah  $u(\nu) = K_B T$  dimana

$K_B = 1,3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  adalah konstanta Boltzmann. Dengan  $c = \lambda \nu$

$$E(\lambda) = \frac{8\pi\nu^2}{(\lambda\nu)^3} (K_B T) \quad (11)$$

Rumus Planck

$$B_\lambda(T) = \frac{2c^2}{\lambda^5} \frac{h}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (12)$$

Berdasarkan polinomial Taylor

$$e^{hc/\lambda kT} \approx 1 + \frac{hc}{\lambda kT} \quad (13)$$

Sehingga apabila dimasukkan kepersamaan, menjadi :

$$E(\lambda) = \frac{8\pi c}{\lambda^5} \cdot \frac{h}{hc} \cdot 1 + \frac{hc}{\lambda kT} - 1 \quad (14)$$

$$= \frac{8\pi ch}{\lambda^5} \frac{\lambda kT}{hc}$$

(15)

$$= 8\pi kT/\lambda^4$$

(16)

Namun, perhitungan pada panjang gelombang ultraviolet dimana energi radiasi oleh Reyleigh dan Jeans tidak mampu menjelaskan terjadinya Bencana Ultraviolet, yaitu kesalahan perhitungan pada panjang gelombang ultraviolet dimana energi radiasi mencapai nilai tak terhingga.

Teori Wien cocok dengan spektrum radiasi benda hitam untuk panjang gelombang yang pendek, dan menyimpang untuk panjang gelombang yang panjang. Teori Rayleigh-Jeans cocok dengan spektrum radiasi benda hitam untuk panjang gelombang yang panjang, dan menyimpang untuk panjang gelombang yg pendek.

Teori elektromagnetik klasik maupun mekanika statistik tidak dapat menjelaskan spektrum yang teramati pada radiasi benda hitam. Teori tersebut hanya dapat memprediksi intensitas yang tinggi dari panjang gelombang rendah atau dikenal sebagai bencana ultraungu. Namun kemudian, Max Planck berhasil memecahkan masalah ini.

### 2.2.3. Teori Max Planck

Max Planck menjelaskan bahwa radiasi elektromagnetik hanya dapat merambat dalam bentuk paket-paket energi atau kuantum yang dinamakan foton. Gagasan Planck ini kemudian berkembang menjadi teori baru dalam fisika yang disebut Teori Kuantum.

Pada tahun 1900, Planck memulai pekerjaannya dengan membuat suatu anggapan baru tentang sifat dasar dari getaran molekul-molekul. Dalam dinding-

dinding rongga benda hitam (pada saat itu elektron belum ditemukan). Anggapan baru ini sangat radikal dan bertentangan dengan fisika klasik, yaitu sebagai berikut:

1. Radiasi yang dipancarkan oleh getaran molekul-molekul tidaklah kontinu tetapi dalam paket-paket energi diskret, yang disebut kuantum (sekarang disebut foton). Besar energi yang berkaitan dengan tiap foton adalah

$$E = h\nu$$

(17)

sehingga untuk  $n$  buah foton maka energinya dinyatakan oleh

$$E_n = nh\nu$$

(18)

Dengan  $n = 1, 2, 3, \dots$  (bilangan asli),  $\nu$  adalah frekuensi getaran molekul-molekul. Energi dari



molekul-molekul dikatakan terkuantisasi dan energi yang diperkenankan disebut tingkat energi. Ini berarti bahwa tingkat energi bisa  $h\nu$ ,  $2h\nu$ ,  $3h\nu$ , ... sedang  $h$  disebut tetapan Planck, dengan  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$  (dalam 2 angka penting)

2. Molekul-molekul memancarkan atau menyerap energi dalam satuan diskret dari energi cahaya, disebut kuantum (sekarang disebut foton). Molekul-molekul melakukan itu dengan "melompat" dari satu tingkat energi ke tingkat energi lainnya. Jika bilangan kuantum  $n$  berubah dengan satu satuan, persamaan menunjukkan bahwa jumlah energi yang dipancarkan atau diserap oleh molekul-molekul sama dengan  $h\nu$ . Jadi, beda energi antara dua tingkat energi yang berdekatan adalah  $h\nu$ . Molekul akan memancarkan atau menyerap energi hanya ketika molekul mengubah tingkat

energinya. Jika molekul tetap tinggal dalam satu tingkat energi tertentu, maka tidak ada energi yang diserap atau dipancarkan molekul. Berdasarkan teori kuantum di atas, Planck dapat menyatakan hukum radiasi Wien dan hukum radiasi Rayleigh-Jeans, dan menyatakan hukum radiasi benda hitamnya yang akan berlaku untuk semua panjang gelombang.

Energi rata-rata per osilator dengan frekuensi  $\nu$  adalah

$$u(\nu) = \frac{\sum_{n=0} \epsilon_n \exp(-\epsilon_n/k_B T)}{\sum_{n=0} \exp(-\epsilon_n/k_B T)} \quad (18)$$

$$E(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1} \quad (19)$$

dengan  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$  adalah tetapan Planck,  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$  adalah cepat rambat cahaya,  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  adalah tetapan Boltzman, dan  $T$  adalah suhu mutlak benda hitam.

#### 2.2.4. Hukum Rayleigh - Jeans

Teori ini dikemukakan oleh Lord Rayleigh dan Sir James Jeans, menurut teori ini muatan - muatan di sekitar dinding benda berongga dihubungkan oleh semacam pegas. Ketika suhu benda dinaikkan, pada muatan timbul energi kinetik sehingga muatan bergetar. Akibat getaran tersebut, kecepatan muatan berubah - ubah, atau dengan kata lain setiap saat muatan selalu mendapatkan percepatan. Muatan yang dipercepat inilah yang menimbulkan radiasi.

Melalui penelitian yang dibuatnya, Rayleigh dan Jeans berhasil menurunkan rumus distribusi intensitas, yang digambarkan grafiknya maka model

yang diusulkan oleh Rayleigh dan Jeans berhasil menerangkan spektrum radiasi benda hitam pada panjang gelombang yang besar, namun gagal untuk panjang gelombang yang kecil.

## BAB 3

### PENUTUP

#### 3.1. KESIMPULAN

Benda hitam didefinisikan sebagai benda yang akan menyerap seluruh radiasi yang jatuh ke dirinya (tidak ada yang dipantulkan). Radiasi benda hitam berasal dari ketika benda berongga dipanaskan dan kemudian menyerap dan memantulkan radiasi. Radiasi ini berlangsung terus - menerus hingga mencapai keseimbangan termal, radiasi ini disebut radiasi benda hitam.

Ada beberapa Hukum dan Teori yang menjelaskan tentang radiasi benda hitam, seperti sebagai berikut :

1. Hukum Stefan - Boltzmann, yang menyatakan bahwa walaupun suhu benda sama, benda akan tetap memancarkan gelombang elektromagnetik dengan

berbagai macam gelombang. Total radiasi meningkat secara tajam dari pada peningkatan suhu benda. Secara matematis besar radiasi yang memancar dari sebuah benda sebanding dengan pangkat empat dari suhunya.

2. Hukum Pergeseran Wien, yang menyatakan bahwa jika benda padat dipanaskan sampai suhu yang sangat tinggi, benda akan tampak memijar dan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan berada pada spektrum cahaya tampak. Jika benda terus dipanaskan, intensitas relatif dari spektrum cahaya yang dipancarkan berubah-ubah.

3. Teori Planck yang mempunyai dua kesimpulan yaitu yang pertama, Sebuah osilator tidak dapat mempunyai energi, tetapi hanya energi-energi yang diberikan. Sedangkan yang kedua, Osilator-osilator tidak meradiasikan energi secara kontinu, tetapi

hanya dalam "loncatan-loncatan" atau kuantum (quanta).

4. Hukum Rayleigh - James, yaitu ini muatan - muatan di sekitar dinding benda berongga dihubungkan oleh semacam pegas. Ketika suhu benda dinaikkan, pada muatan timbul energi kinetik sehingga muatan bergetar, dan getaran tersebut menimbulkan percepatan yang selanjutnya menimbulkan radiasi.

## DAFTAR PUSTAKA

A. J. Pointon. 1967. *An Introduction to Statistical Physics for Students*. First Print

Budiyanto, Joko. 2009. *Fisika Untuk SMA/MA Kelas XII*.  
Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional

M. Ali Yaz. 2007. *Fisika 3*. Yogyakarta : Yudhistira

Oxtoby, Gillis, Nachtrieb. 2003. *Prinsip - Prinsip Kimia Modern Edisi Keempat Jilid Dua*. Jakarta : Airlangga

Surya, Yohannes. 2009. *Fisika Modern*. Tangerang : Kandel

Chang, Raymond. 2009. *Kimia Dasar Edisi Ketiga Jilid Satu*.  
Jakarta : Airlangga

Kanginan, Marthen. 2007. *Fisika Untuk Sma Kelas XII*.  
Jakarta : Erlangga

[http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Jeans\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Jeans_law)

[http://phys.itb.ac.id/~viridi/pdf/fisika\\_statistik.pdf](http://phys.itb.ac.id/~viridi/pdf/fisika_statistik.pdf)



## LAMPIRAN

Memanfaatkan Liburan 😊

