



RADIASI BENDA HITAM

- Intensitas spesifik
- Fluks energi
- Luminositas
- Bintang sebagai benda hitam (*black body*)

Kompetensi Dasar:

Memahami konsep pancaran benda hitam

Teori Benda Hitam

- Jika suatu benda disinari gelombang elektromagnetik, benda tersebut akan menyerap sebagian energi → **temperatur benda meningkat.**

Seandainya benda terus menyerap energi yang datang tanpa memancarkan kembali, apa yang akan terjadi?

- **Faktanya**, sebagian energi yang diserap benda akan dipancarkan kembali. Temperatur akan terus naik apabila **laju penyerapan energi** $>$ daripada **laju pancarannya**.
- Pada akhirnya benda akan mencapai temperatur keseimbangan, keadaan yang disebut sebagai *setimbang termal* (*setimbang termodinamik*).

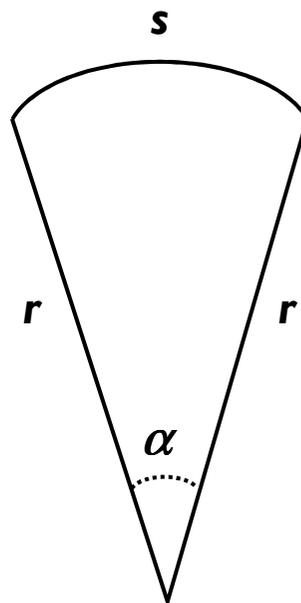
- Untuk memahami sifat pancaran suatu benda, dihipotesiskan suatu **penyerap sekaligus pemancar sempurna** yang disebut **benda hitam** (*black body*).



Pada keadaan setimbang termal, temperatur benda hitam hanya ditentukan oleh energi yang diserap per detik.

Jika ada 2 benda hitam dengan ukuran sama namun berbeda temperaturnya, benda hitam yang lebih panas adalah yang terlihat lebih terang. **Mengapa?**

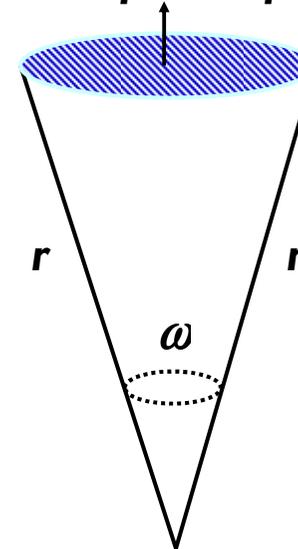
Besaran yang Terkait dengan Benda Hitam



$$\alpha = s/r \text{ (sudut bidang)}$$

↳ **radian**

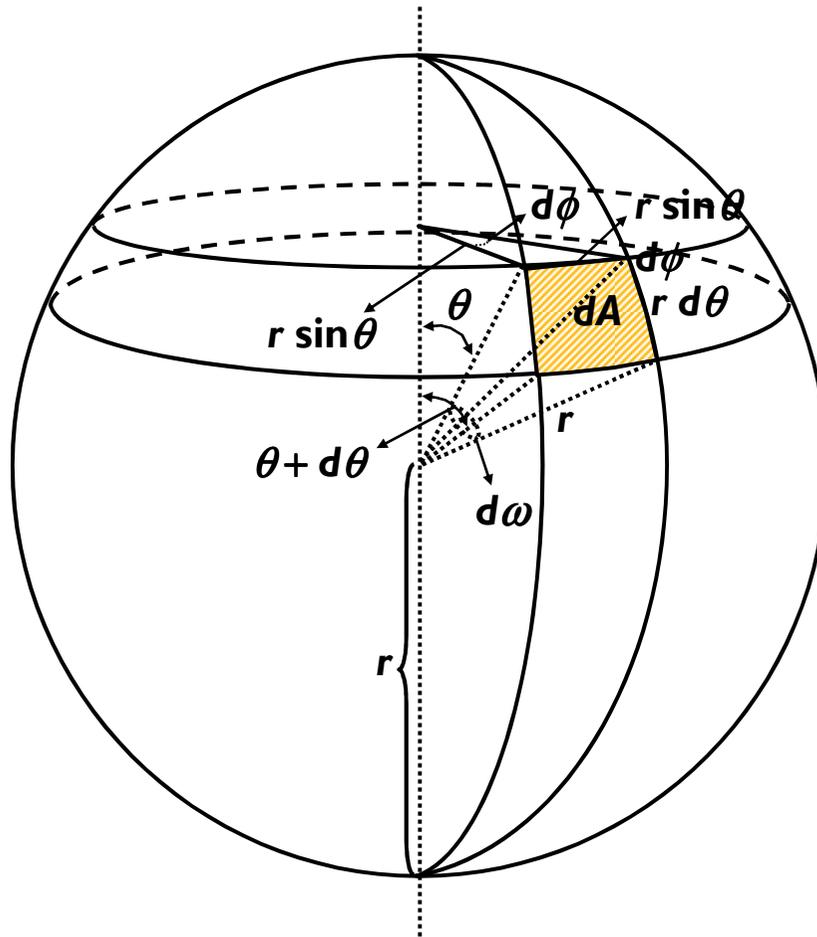
$A = \text{luas penampang}$



$$\omega = A/r^2 \text{ (sudut ruang)}$$

↳ **steradian**

Unsur Kecil Sudut Ruang dalam Koordinat Bola



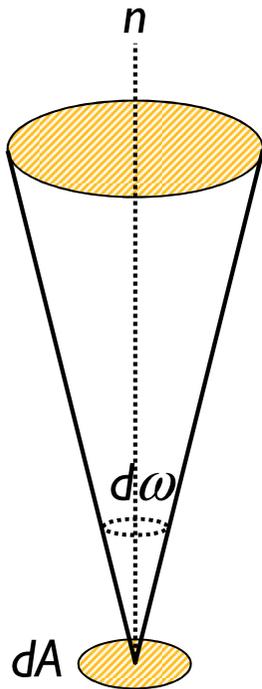
Luas penampang :

$$dA = r^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

Sudut ruang

$$d\omega = dA/r^2 = \sin \theta d\theta d\phi$$

Tinjau unsur permukaan dA yang arah normalnya adalah garis n



Apabila berkas pancaran melewati permukaan dA dalam arah tegak lurus permukaan, dalam sudut ruang sebesar $d\omega$, maka *jumlah energi yang lewat dalam selang waktu dt adalah:*

$$dE = I dA d\omega dt$$

↳ intensitas spesifik

jumlah energi yang mengalir pada arah tegak lurus permukaan, per cm^2 , per detik, per steradian

atau $dE = I dA \sin \theta d\theta d\phi dt$

- Sedangkan *jumlah energi yang dipancarkan melalui permukaan seluas 1 cm², per detik, ke segala arah* adalah:

$$F = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi$$

- Apabila pancaran bersifat **isotropik** (sama ke semua arah), atau dengan kata lain I bukan fungsi dari θ dan ϕ , maka persamaan di atas menjadi:

$$F = \pi I$$

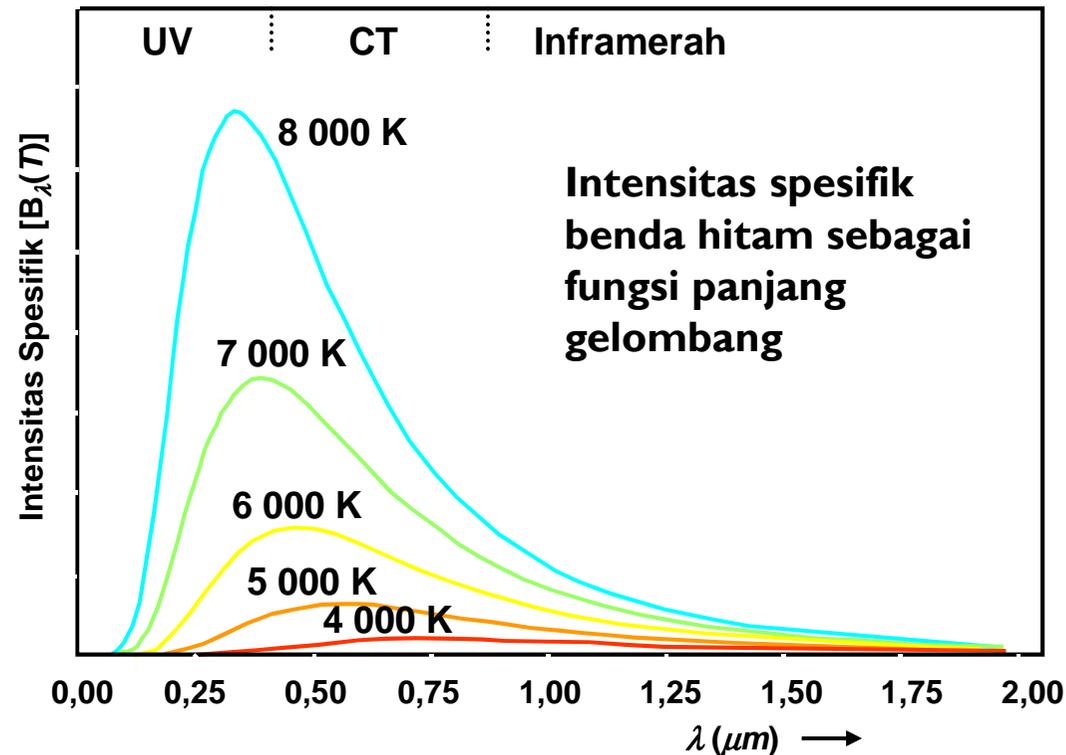
- Suatu benda hitam tidak memancarkan gelombang elektromagnet dengan merata. Benda hitam bisa memancarkan cahaya biru lebih banyak daripada cahaya merah, atau sebaliknya, bergantung temperaturnya.

Menurut **Max Planck** (1858–1947), suatu benda hitam bertemperatur T akan memancarkan energi pada panjang gelombang antara λ dan $\lambda + d\lambda$ dengan intensitas spesifik $B_\lambda(T) d\lambda$ sebesar:

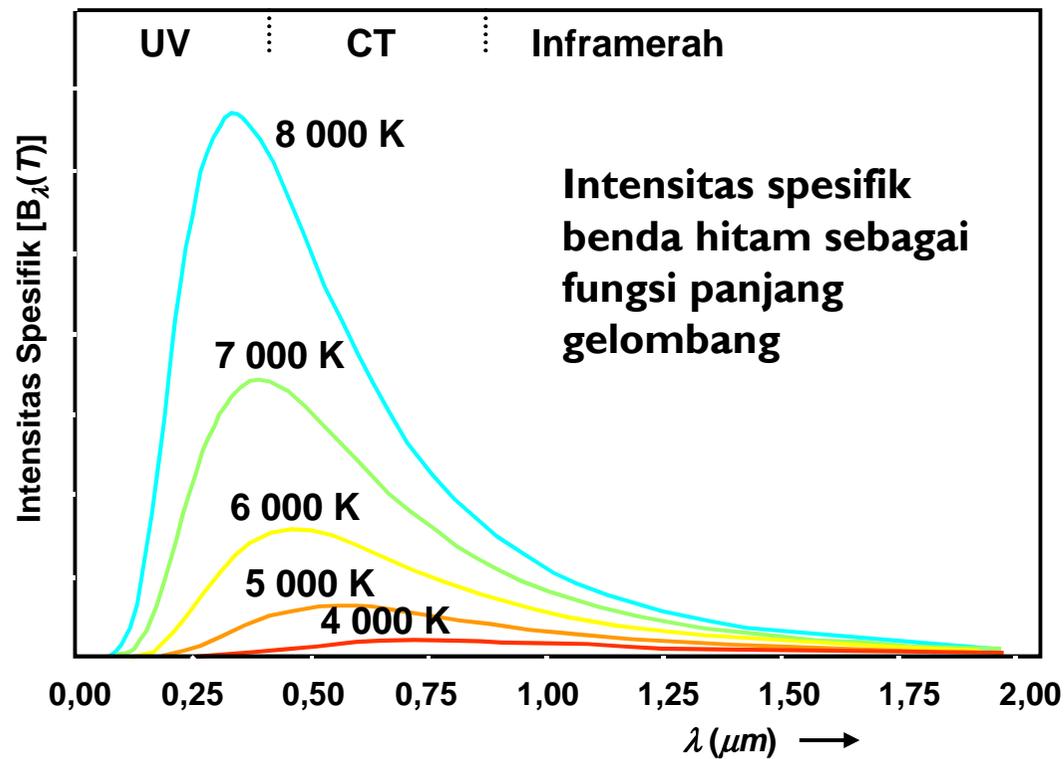
$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Fungsi Planck

Distribusi energi menurut panjang gelombang untuk pancaran benda hitam dengan berbagai temperatur (*spektrum benda hitam*):



Makin tinggi temperatur suatu benda hitam, makin tinggi pula intensitas spesifik yang dimilikinya.



Energi total yang dipancarkan benda hitam untuk seluruh panjang gelombang adalah:

$$\mathbf{B(T) = \frac{\sigma}{\pi} T^4}$$

Panjang gelombang maksimum radiasi benda hitam, yaitu λ pada harga yang maksimum (λ_{maks}), dapat diperoleh dari syarat maksimum, yaitu:

$$\frac{d B_{\lambda}(T)}{d \lambda} = 0$$

yang akan memberikan:

$$\lambda_{Maks} = \frac{0,2898}{T}$$

Hukum Wien

Apa makna fisis dari Hukum Wien?



Dari intensitas spesifik $B_\lambda(T)$ dapat ditentukan *jumlah energi yang dipancarkan oleh setiap cm^2 permukaan benda hitam per detik ke segala arah, yaitu:*

$$\mathbf{F} = \pi \mathbf{I} = \pi \mathbf{B}(T)$$

$$\mathbf{F} = \pi \left(\frac{\sigma}{\pi} T^4 \right)$$

$$\mathbf{F} = \sigma T^4$$

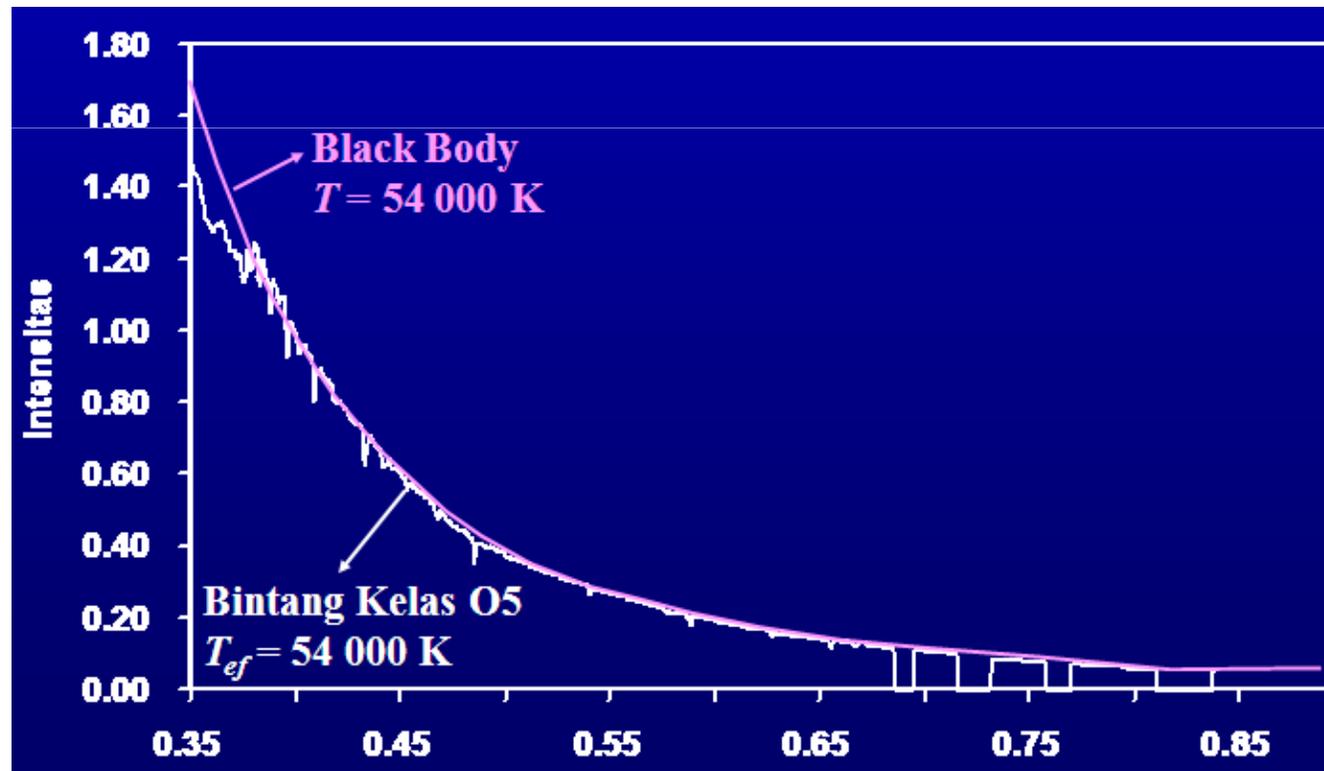
Bila benda hitam berbentuk bola dengan radius R , *jumlah energi yang dipancarkan seluruh permukaan benda hitam per detik ke segala arah, adalah:*

$$\mathbf{L} = \mathbf{A}\mathbf{F} = (4\pi R^2)(\sigma T^4)$$

$$\mathbf{L} \equiv \text{Luminositas}$$

Bintang sebagai Benda Hitam

Bintang dapat dianggap sebagai benda hitam. Hal ini tampak dalam kurva distribusi energi bintang yang memiliki temperatur efektif $T_{ef} = 54.000$ K sama dengan distribusi energi benda hitam yang bertemperatur sama.



Tugas 1

- Hubungan antara luminositas **L** dengan fluks energi yang diterima **E** pada jarak **d** adalah:

$$E = \frac{L}{4\pi d^2}$$

- Fluks energi yang diterima **E** pada jarak **d** tersebut menyatakan juga kecerahan (*brightness*) objek yang teramati.

- Luminositas bintang B $2x$ luminositas bintang A. Jarak bintang B dari pengamat di Bumi juga $2x$ lebih jauh daripada jarak bintang A. Berapakah kecerahan relatif bintang B terhadap bintang A menurut pengamat?
- Meskipun bintang A dan bintang B memiliki luminositas yang sama, kecerahan bintang A $100x$ kecerahan bintang B. Berapa kali lebih jauhkah jarak bintang B dibandingkan bintang A dari pengamat?
- Bintang A dan bintang B memiliki radius yang sama, tetapi temperatur bintang B $2x$ lebih tinggi dibandingkan bintang A. Tentukan perbandingan luminositas bintang B terhadap bintang A!
- Dua bintang diketahui memiliki tipe spektrum dan kecerahan yang sama. Bila paralaks bintang A dan B masing-masing adalah $1''$ dan $0,1''$, berapa kali lebih besarkah radius bintang B relatif terhadap bintang A?