

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sinar matahari terpancar ke bumi melalui gelombang elektromagnetik, pancaran ini disebut radiasi.

Radiasi berlangsung dalam ruang hampa oleh benda sebagai akibat dari radiasi termalnya (*thermal radiation*)¹.

Secara umum, radiasi terpancarkan berupa spektrum benda panas, hal ini bergantung pada komposisi benda

¹ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 384

itu, yang dikenal dengan benda hitam (*black body*)². Benda hitam adalah suatu benda yang dapat menyerap semua radiasi yang datang padanya. Kemampuan memancarkan atau menyerap energi radiasi yang dimiliki sebuah benda hitam dapat diperkirakan berdasarkan nilai emisivitasnya. Nilai emisivitas berkisar antara 0 dan 1, ditulis $0 \leq e \leq 1$.³ .Setiap benda yang suhu di atas nol mutlak mampu meradiasikan energi termal. Energi termal dapat dijelaskan dengan konsep radiasi benda hitam yang diselidiki oleh Stefan-

² Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 386

³ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 667

Boltzmann. Sementara, spektrum radiasi benda hitam diselidiki oleh Wien. Energi yang dimiliki suatu benda yang berhubungan dengan suhu mutlaknya disebut energi radiasi kalor dan energi radiasi termal. Dalam materi ini akan dijelaskan intensitas radiasi benda hitam yang melibatkan : Stefan dan Boltzmann, Wilhelm Wien, Rayleigh dan Jeans, dan Max Planck. Ini merupakan model matematis yang menunjukkan bahwa gambaran gelombang klasik tentang radiasi elektromagnet (yang berhasil baik menerangkan percobaan Young dan Hertz pada abad ke sembilan dan yang dapat di analisis secara tepat dengan persamaan Maxwell).

Di dalam kehidupan sehari-hari banyak ditemukan beberapa fenomena radiasi benda hitam. Seperti penggunaan *solar water heater*, alat tersebut menggunakan prinsip radiasi benda hitam. Dengan berkembangnya teknologi tersebut diperlukan beberapa kajian tentang benda hitam yang mempunyai energi terbesar yang bisa diserap ketika proses radiasi berlangsung. Penelitian ini dilakukan untuk meneliti kualitas absorptivitas radiasi benda hitam pada *portable water heater*.

1.2 MASALAH PENELITIAN

Pembuatan *solar water heater* selama ini tidak memanfaatkan prinsip radiasi benda hitam. Untuk itu perumusan masalah adalah bagaimana cara memanfaatkan prinsip radiasi benda hitam pada *solar water heater*, bagaimana pengaruh variasi lapisan warna plastik pada kualitas *solar water heater* dan bagaimana pengaruh absorptivitas radiasi benda hitam pada *portable solar water heater* serta bagaimana analisa absorpsi pada plastik berwarna hitam.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Sesuai dengan permasalahan penelitian yang telah dikemukakan diatas, sehingga tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rancang bangun *solar water heater* memanfaatkan prinsip radiasi benda hitam.\
2. Menganalisa pengaruh variasi lapisan warna plastik pada kualitas *solar water heater*
3. Mengukur tingkat absorpsivitas radiasi benda hitam pada *portable solar water heater* serta analisa absorpsi pada plastik berwarna hitam.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Didalam kehidupan sehari-hari tentunya banyak sekali pemanfaatan dari penelitian yang dilakukan ini diantaranya adalah menentukan bahan yang digunakan untuk membuat water heater. Kemudian, studi awal pembuatan solar water heater sudah dilakukan dan telah berhasil diimplementasikan untuk kegiatan pengabdian masyarakat Fakultas sains dan Teknologi pada tahun 2013. Pada penelitian ini kami akan melakukan studi lanjutan yang lebih rinci, khususnya dalam penentuan bahan plastik yang akan digunakan untuk solar water heater. Hal ini dilakukan dalam rangka meningkatkan

kualitas produk solar water heater agar dapat bertahan lebih lama lagi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Benda Hitam

Telah kita ketahui kalor merambat dengan 3 cara yaitu : konduksi, konveksi dan radiasi. Energi matahari sampai di bumi dengan cara radiasi gelombang elektromagnetik. Demikian juga jika kita dekat dengan api (1 benda yang lebih panas) maka maka tubuh kita terasa hangat,ataupun disekitar pembakar alkohol suhu udara disekitarnya akan lebih tinggi. Radiasi ini

dinamakan radiasi termal Berdasarkan eksperimen laju kalor radiasi termal suatu benda dipengaruhi oleh :

1. Suhu benda : semakin tinggi suhu suatu benda semakin besar laju radiasi kalor
2. Sifat permukaan benda : semakin kasar suatu benda semakin banyak memancarkan radiasi dibandingkan permukaan halus
3. Luas permukaan benda : Permukaan yang luas akan lebih banyak memancarkan radiasi.
4. Jenis material : untuk jenis benda yang berbeda logam misalnya mempunyai laju radiasi kalor yang berbeda. Dari faktor-faktor hasil eksperimen

diatas Stefan- Boltzman melakukan pengukuran besarnya daya total yang dipancarkan oleh benda.

Radiasi thermal adalah radiasi yang dipancarkan oleh suatu benda sebagai akibat dari suhunya. Benda baru bisa terlihat sebagai akibat dari radiasi thermal jika memiliki suhu 1000 K, dimana pada suhu ini benda mulai berpijar merah (contoh: kumparan pemanas kompor listrik) ; pada suhu lebih dari 2000 K benda akan berpijar kuning atau keputih-putihan (contoh: lampan lampu pijar). Demikian seterusnya, jika suhu ditingkatkan lebih lanjut maka akan menimbulkan pijar warna yang berbeda pula. Pada akhir 1800an para ahli

fisika melakukan pengukuran berbagai frekuensi intensitas cahaya yang dihasilkan oleh radiasi benda hitam pada kondisi temperatur tetap (5000 K). Dan dari percobaan tersebut diperoleh data yang jauh berbeda dari benda hitam yang seharusnya (ideal). Pada kurva ideal ditunjukkan bahwa, ketika temperatur dinaikkan rapatannya energi semakin bertambah pada daerah VIS (cahaya tampak) dan puncak semakin bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih kecil, hal ini berarti bahwa radiasi benda hitam bersifat kontinyu. Sedangkan pada hasil percobaan terlihat, kurva radiasi yang ada tidak menunjukkan adanya pergeseran panjang gelombang ke arah daerah VIS.

Benda hitam merupakan benda yang sangat ideal. Emisivitas (daya pancar) yang dimiliki benda hitam sebesar $(e) = 1,0$. Untuk tingkatan laboratorium (percobaan), benda hitam digambarkan sebagai suatu rongga (lubang) kecil hitam. Dimana prinsip kerjanya yaitu ketika suatu berkas cahaya memasuki rongga tersebut, berkas cahaya akan dipantulkan berkali-kali tanpa pernah keluar dari rongga tersebut. Untuk setiap pemantulan yang terjadi, berkas cahaya tersebut akan diserap oleh dinding-dinding berwarna hitam jika suhunya lebih rendah dari sekitarnya, sebaliknya berkas cahaya akan dipancarkan jika suhunya lebih tinggi dibandingkan sekitarnya. Emisivitas yang dimiliki

0,99 karena jika emisivitasnya lebih rendah dari nilai tersebut, tidak lagi dapat disebut sebagai benda hitam, melainkan benda abu-abu.

Apabila kita telusuri lebih lanjut, panas matahari sampai ke bumi merupakan penjalaran gelombang elektromagnetik. Seperti penjelasan sebelumnya perpindahan kalor seperti ini disebut radiasi, yang dapat berlangsung dalam ruang hampa. Radiasi yang dipancarkan oleh sebuah benda sebagai akibat suhunya disebut radiasi panas (*thermal radiation*). Setiap benda secara kontinu memancarkan radiasi panas dalam bentuk

gelombang elektromagnetik. Nilai emisivitasnya: $e = 1^4$. Penyerap radiasi yang baik juga merupakan pemancar radiasi yang baik pula. Radiasi yang dihasilkan oleh benda hitam sempurna disebut *radiasi benda hitam*.⁵

Benda hitam adalah benda dimana radiasi yang jatuh akan diserap seluruhnya, pengertian benda hitam sempurna dapat dianalogikan dengan suatu lubang kecil pada sebuah dinding berongga : Seberkas sinar masuk pada lubang sebuah dinding berongga sinar ini dipantulkan berkali-kali oleh dinding rongga dan setiap kali dipantulkan intensitasnya berkurang karena sebagian

⁴ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 667

⁵ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 386-388

sinar diserap oleh dinding sampai suatu saat energinya menjadi kecil hampir mendekati nol. Jadi dapat dikatakan sinar yang mengenai lubang tidak keluar lagi itulah sebabnya lubang itu dinamakan benda hitam. Sebaliknya pada waktu benda berongga tersebut dipanaskan misalnya pada suhu T maka melalui lubang akan dipancarkan radiasi .

Setiap benda memancarkan radiasi panas, tetapi umumnya benda terlihat karena benda itu memantulkan cahaya yang datang padanya, dan bukan karena ia memancarkan radiasi panas. Benda baru terlihat karena meradiasikan panas jika suhunya melebihi 1000 K. Pada suhu ini benda mulai berpijar merah seperti kumparan

pemanas sebuah kompor listrik. Pada suhu diatas 2000 K benda berpijar kuning atau keputih-putihan, seperti besi berpijar putih atau pijar putih dari filament lampu pijar. Begita suhu benda terus ditingkatkan, intensitas relatif dari spektrum cahaya yang dipancarkanya berubah.

2.2 Intensitas Radiasi

Ahli fisika Austria, Josef Stefan (1835-1893) pada tahun 1879. Hasil eksperimennya menyebutkan bahwa daya total persatuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh suatu benda hitam, intensitas radiasi totalnya sebanding dengan pangkat empat dari

suhu mutlaknya. Persamaan empiris hukum Stefan ditulis:

$$I_{total} = \int R_f df = \sigma T^4$$

dengan I total adalah intensitas (daya persatuan luas) radiasi pada permukaan benda hitam pada semua frekuensi, R_f adalah intensitas radiasi persatuan frekuensi yang dipancarkan oleh benda hitam, T adalah suhu mutlak benda, dan σ adalah tetapan Stefan-Boltzmann, yaitu $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{k}^{-4}$. Untuk benda panas yang bukan benda hitam akan memenuhi hukum yang sama hanya diberi tambahan koefisien emisivitas, e , yang lebih kecil dari 1:

$$I_{total} = e\sigma T^4$$

Ingat $I = \frac{P}{A}$, sehingga persamaan diatas juga dapat ditulis :

$$I = \frac{P}{A} = e\sigma T^4 \text{ atau } P = e\sigma AT^4 \text{ }^6$$

dimana :

P = daya/laju radiasi (Watt)

I = Intensitas Radiasi (Daya per satuan waktu)

e = emisivitas benda → nilainya di antara 0 dan 1

σ = konstanta Stefan-Boltmann ($5,67 \times 10^{-8}$

W/m²K⁴)

⁶ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 663

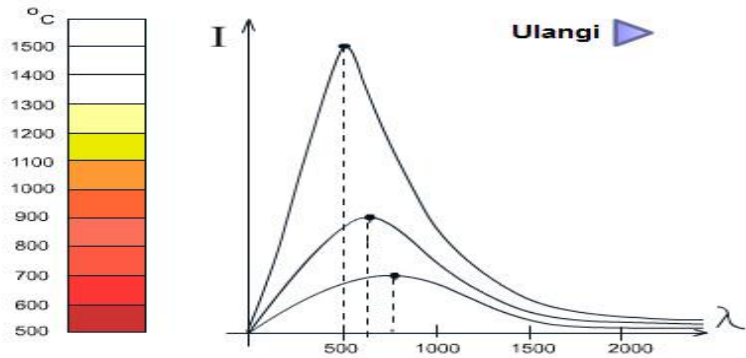
$A =$ luas permukaan benda (m^2)

$T =$ suhu mutlak (K)

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

2.3 Teori Pergeseran Wien

Grafik Spektrum radiasi benda hitam :



(Gambar 1. Grafik Spektrum Radiasi Benda Hitam)⁷

Jika suatu benda dipanaskan, benda itu akan memancarkan radiasi kalor. Pada benda bersuhu lebih tinggi dari 1000 K benda mulai berpijar merah contohnya pada kompor listrik dimana kumparannya

⁷ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 662

atau tungkuhnya Nampak kemerahan. Jika suhu bertambah diatas suhu 2000 K cahaya benda Nampak kuning sampai ke putih contohnya warna cahaya dipancarkan dari filament lampu bolam seperti gambar grafik diatas.

Menurut Hukum Pergeseran Wien

Panjang gelombang untuk intensitas maksimum (m) berkurang dengan meningkatnya suhu dengan persamaan

$$\lambda m T = b$$

Dimana: λ_m = panjang gelombang ketika intensitas radiasi maksimum (m)

T = suhu mutlak benda (K)

b = tetapan Wien ($2,898 \times 10^{-3}$ m.K)

Radiasi yang dipancarkan benda hitam dilewatkan melalui celah agar diperoleh berkas gelombang yang sempit. Gelombang tersebut kemudian terdispersi menurut panjang gelombang masing-masing. Untuk mengukur intensitas dan panjang gelombang setiap spektrum, digunakan detektor yang dapat digeser menurut sudut deviasi berkas gelombang terdispersi. Percobaan tersebut dilakukan berulang pada suhu benda hitam yang berbeda. Dari percobaan yang dilakukan pada

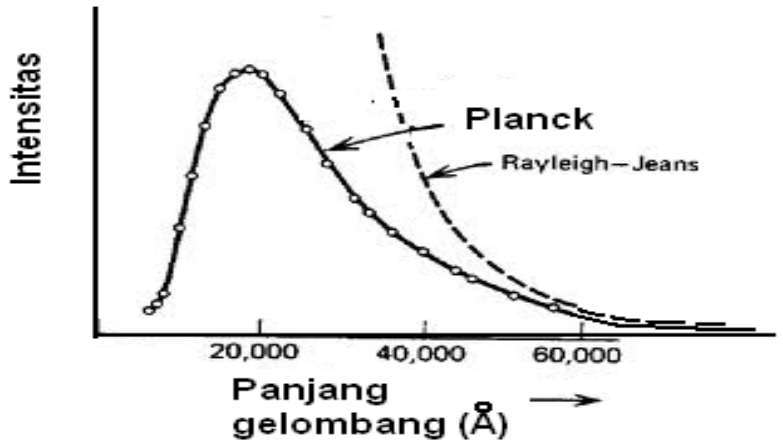
beberapa suhu yang berbeda tersebut maka didapat bahwa intensitas radiasi yang dipancarkan benda hitam pada suhu tertentu ditunjukkan oleh grafik yang selalu berbentuk garis lengkung. Intensitas radiasi maksimum terjadi pada panjang gelombang tertentu. Dan luas daerah yang dibatasi oleh garis lengkung dan sumbu panjang gelombang menunjukkan intensitas radiasi terhadap benda yang di absorpsikan nya sehingga akan terjadi warna spektrum sesuai pergeseran wiennya. Dari grafik hasil percobaan menunjukkan bahwa jika suhu dinaikkan, intensitas radiasi akan meningkat dan dalam setiap nilai suhu ada panjang gelombang yang memiliki nilai maksimum, yakni λ_{maks} . Terlihat pula pada grafik

bahwa jika suhu berubah, λ_{maks} akan mengalami pergeseran. Semakin tinggi suhu, intensitas λ_{maks} semakin bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek. Gejala pergeseran intensitas cahaya λ_{maks} pada radiasi benda hitam disebut Pergeseran Wien. Wien juga menemukan bahwa hasil kali antara intensitas pada λ_{maks} dan suhu mutlak merupakan suatu bilangan konstan. $\lambda_{\text{maks}} (T = \text{konstan})$ Bilangan konstan pada perumusan Hukum Pergeseran Wien disebut Konstanta Wien dengan nilainya yaitu $2,898 \times [10]^{-3}$ m.K.

2.4 Teori Planck⁸

Sebelum membahas teori Planck sebelumnya telah ada teori Spektrum radiasi benda hitam yaitu teori Rayleigh-Jeans, Ketika suhu benda dinaikkan, elektron-elektron ini mendapat energi kinetik untuk bergetar. Dengan bergetar berarti kecepatannya berubah-ubah. Dengan kata lain ada percepatan. Muatan-muatan yang mengalami percepatan akan memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik. Dimana model miliknya cocok untuk menerangkan spektrum radiasi benda hitam dengan panjang gelombang yang besar namun gagal untuk gelombang yang kecil.

⁸ Arthur Beiser ,*“Concept Of Modern Physics”*, Third Edition, Mc Graw Hill Company, 1981. Hal : 44



(Gambar 2. Radiasi Benda Hitam Model Planck Dan
Rayleigh-Jean)⁹

Model Planck mempunyai kesamaan dengan
model Rayleigh-Jeans, yaitu radiasi benda hitam

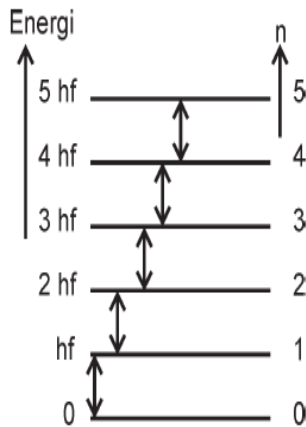
⁹ Arthur Beiser ,*“Concept Of Modern Physics”*, Third Edition, Mc Graw Hill Company, 1981. Hal : 52

dihasilkan dari muatan-muatan yang bergetar sehingga mengalami percepatan. Namun ia menambahkan bahwa:

- a. muatan-muatan yang bergetar akan memancarkan energinya berupa paket-paket energi kecil dan terputus-putus yang disebut kuantum (sekarang dikenal sebagai foton).¹⁰
- b. Pancaran energi radiasi yang dihasilkan oleh getaran oleh molekul-molekul benda dalam bentuk kuantum-kuanta¹¹

¹⁰ Arthur Beiser ,“*Concept Of Modern Physics*”, Third Edition, Mc Graw Hill Company, 1981. Hal : 44

¹¹ Arthur Beiser ,“*Concept Of Modern Physics*”, Third Edition, Mc Graw Hill Company, 1981. Hal : 44



Jika suatu atom menyerap 1 kuantum (1 foton) maka energinya naik sebesar hf . Jika melepas 1 kuantum (1 foton) maka energinya turun sebesar hf . ($n =$ bilangan bulat).

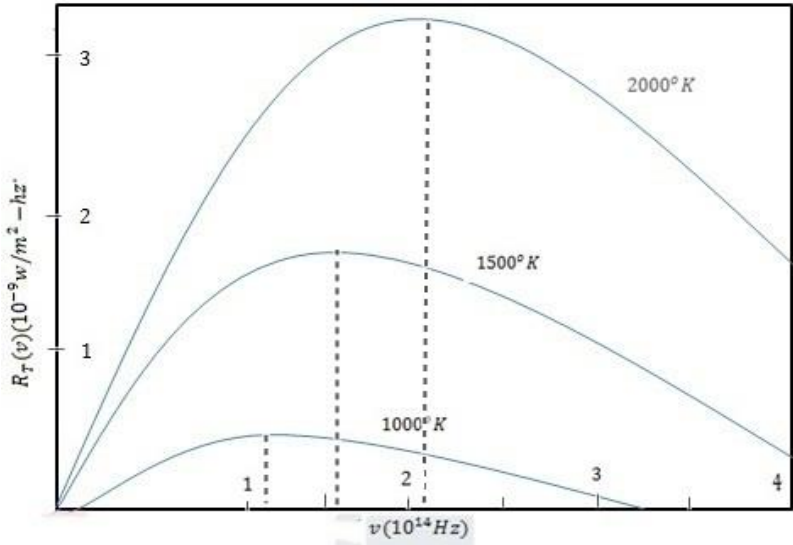
Hipotesis planck merupakan hasil usahanya untuk menerangkan spektrum cahaya yang dipancarkan oleh suatu benda sempurna hitam yang memiliki suhu T .

Pada ujung abad ke 19, pancaran benda sempurna hitam merupakan suatu yang belum dapat diterangkan dengan memuaskan. Maksudnya belum ada keterangan teoritik tentang bentuk spektrum $R_T = R_T(\delta)$ dari radiasi yang terpancar oleh suatu benda sempurna hitam yang berada dalam suhu T .

Dalam ungkapan diatas R_T adalah radiasi spektral, yaitu jumlahnya energi yang dipancarkan persatuan waktu dalam bentuk radiasi dengan satuan

selang waktu frekuensi ($\Delta\delta=1$) oleh satuan permukaan benda sempurna hitam yang suhunya T ($^{\circ}\text{k}$). δ adalah frekuensi radiasi thermal oleh benda sempurna hitam.

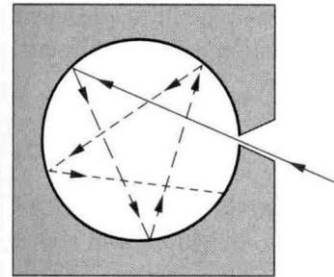
Bentuk grafik $R_T = R_T(\delta)$ adalah seperti dibawah, satuan R_T adalah $\text{watt/m}^2\text{hz}$ sedangkan satuan δ adalah hz .



Gambar II radiasi spektral peradiasi benda hitam sebagai fungsi frekuensi radiasi menunjukkan untuk temperatur peradiasi 1000⁰K, 1500⁰K dan 2000⁰K, tercatat bahwa frekuensi radiasi maksimum terjadi kenaikan linear seiring dengan kenaikan temperatur dan total daya teremisi per m² dari peradiasi (daerah dibawah kurva) bertambah sangat cepat terhadap temperatur

Pancaran radiasi oleh benda seperti diatas, yaitu yang disebabkan oleh suhu benda itu, dinamakan radiasi termal (*thermal radiation*).

Telaah tentang radiasi termal ditujukan untuk mengetahui hakikatnya radiasi energi dalam hubungannya dengan suhu T suatu benda. Dalam hal ini ingin dihindarkan pengaruh dari benda itu sendiri (macam



Gb. II.3

bahan, halus dan warna permukaan, bentuk, \dots .

Bagaimanakah dapat dibuat suatu pemancar panas (*thermal radiator*) yang memenuhi keinginan di atas?.

Ternyata bahwa pemancar yang ideal adalah lubang suatu rongga. Sifat dari radiasi energi termal yang

dipancarkan ternyata paling mendekati pemancar panas yang sifat-sifat pemancarannya tidak dipengaruhi oleh benda yang memancar.

Suatu lubang seperti tergambar akan menerima semua berkas cahaya yang jatuh padanya, dengan sedikit sekali kemungkinan bahwa berkas sinar yang masuk itu akan terpantulkan kembali melalui lubang itu. Jadi lubang itu merupakan penyerap yang (hampir) sempurna. Sebaliknya dari teori mengenai pemancaran radiasi termal oleh benda-benda diketahui bahwa benda yang merupakan penyerap yang baik, apabila menjadi pemancar akan pula menjadi pemancar yang baik. Oleh karena itu lubang yang memancar radiasi termal

dianggap memenuhi sifatnya sebagai pemancar yang ideal, jadi dapat berfungsi sebagai benda sempurna hitam.

Jadi energi radiasi yang dipancar oleh lubang itu adalah energi yang berada dalam rongga. Oleh karena itu radiasi yang dipancar kadang-kadang disebut *cavity radiation*, atau dalam bahasa Indonesianya pemancaran oleh rongga.

Untuk dapat menghayati makna dari radiasi spektral $R_T(D)$, di bawah ini diberikan suatu uraian singkat. Andaikanlah kita mempunyai bola serba sama dengan jari-jari r . Andaikanlah bahwa suhu bola adalah T , sedangkan radiasi spektralnya $R_T(D)$.

Pancaran per satuan luas meliputi seluruh selang frekuensi ($D = 0$ sampai $D = \infty$) adalah :

$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(D) dD$$

Sedangkan energi/ waktu yang dipancar oleh seluruh permukaan bola meliputi seluruh selang frekuensi adalah: $P = 4\pi r^2 R_T$

Meskipun belum ada teorinya, berbagai pengukuran secara sistematis tentang pemancaran oleh benda sempurna hitam (*black body radiation*) telah memberikan 2 hukum empiris sebagai berikut:

- Hukum Stefan (1897) :

Pemancaran energi per satuan waktu per satuan luas permukaan benda sempurna hitam adalah :

$$R_T = \sigma T^4$$

Dengan T suhu benda dalam derajat Kelvin.

Dalam ungkapan diatas σ dinamakan tetapan Stefan-Boltzman ; besarnya $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ watt/ m²ok.

- Hukum Pergeseran Wien (*Wien's Displacement Law*)
Puncak lengkung radio uji spectral suara benda sempurna hitam tergantung dari suhu mutlak T benda tersebut. Puncak itu terjadi pada panjang gelombang λ_{maks} yang letaknya ditentukan oleh ungkapan matematik sebagai berikut :

$$\lambda_{maks}T = 2,90 \times 10^{-3} m ok$$

Hukum Wien ini dapat dilihat antara lain pada grafik di halaman 68. Hanya perlu anda mentransformasikan hasilnya dari 0 ke λ .

Jadi, apabila nanti diketemukan model atau hipotesa tentang pancaran termal oleh benda sempurna hitam, maka ramalan yang diturunkan dari hipotesa itu harus dapat menerangkan :

- a. Bentuk lengkung $R_T(0)$ sebagai fungsi dari 0 dan T ; kalau dapat bentuk hubungan matematiknya sekaligus.
- b. Hukum Stefan ; dengan dengan harga tetapan σ sekaligus.

- c. Hukum pergeseran Wien ; dengan tetapannya sekaligus.

Tetapan Stefan-Boltzmann dan “tetapan Wien” semestinya tak lagi bergantung dari bahan yang dipergunakan, dan oleh karena itu harga bergantung dari tetapan-tetapan fisika yang universal sifatnya.

Materi ini hanya mengemukakan garis-garis besar saja yang menuju ke perumusan termaksud. Teori umum mengenai radiasi penyalahan adanya hubungan antara radiasi spektral $R_T(0)$ untuk permukaan lubang suatu rongga yang memancarkan energi termal dan rapat energi $\rho_T(0)$ per satuan volume per satuan.

Selang frekuensi, sebagai berikut :

$$R_T(\nu) \Delta\nu = \left(\frac{c}{4}\right) \zeta_T(\nu) \Delta\nu$$

Karena secara teoritik lebih mudah bekerja dengan rapat energi termal persamaan selang frekuensi $\zeta_T(\nu)$ daripada dengan $R_T(\nu)$, maka selanjutnya kita akan bekerja dengan $\zeta_T(\nu)$.

Dengan menggunakan teori klasik radiasi dapat diturunkan suatu ungkapan untuk $\zeta_T(\nu)$ sebagai berikut :

$$\zeta_T(\nu) \Delta\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \mathcal{E} d\nu$$

Dengan ν frekuensi radiasi dan \mathcal{E} energi rata-rata osilator yang memancar energi termal.

Dalam teori klasik digambarkan bahwa pancaran radiasi termal itu bersumber pada electron-elektron yang

melakukan getaran osilasi pada permukaan rongga. Ini boleh dikatakan merupakan suatu hipotesa.

Ada beberapa usaha untuk menentukan harga ϵ , kerja rata-rata osilator. Yang pertama adalah oleh pasangan Rayleigh dan Jeans yang menyatakan bahwa teori klasik ekipartisi energi dapat dipergunakan untuk menetapkan C .

Teori ekipartisi menyatakan bahwa secara rata-rata setiap derajat kebebasan memiliki energi sebesar $\frac{1}{2}k_B T$. Dalam ungkapan ini k_B adalah tetapan Boltzmann ($k_B = 1,381 \times 10^{-23}$ joule/ $^{\circ}K$), dan T adalah suhu mutlak.

Karena suatu osilator linier (bergerak dalam satu dimensi) memiliki 2 derajat kebebasan, maka menurut hukum ekipartisi energi

$$\mathcal{E} = 2 \times \frac{1}{2} k_B T$$

$$\mathcal{E} = k_B T$$

Jadi menurut Rayleigh dan Jeans :

$$\Delta \nu \zeta_T(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} k_B T \Delta \nu$$

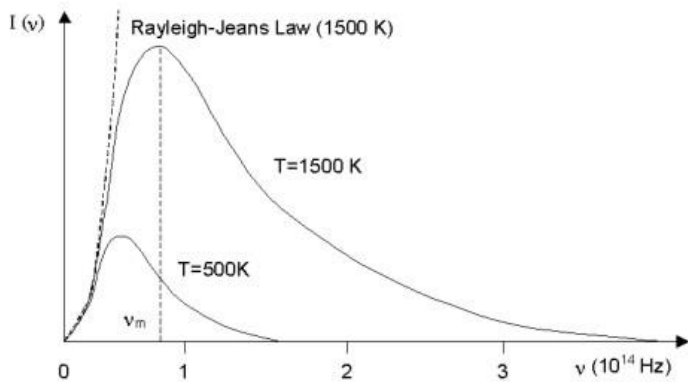
Hal itu sangat berbeda dengan kenyataan eksperimentalnya (lihat sketsa dibawah)

Rumus Rayleig-Jeans untuk radiasi oleh benda sempurna hitam memang cocok untuk frekuensi rendah (*classical theory* dalam sketsa di halaman 74), tetapi

menghasilkan energi persatuan volum persatuan selang frekuensi yang besarnya ∞ apabila $0 \rightarrow \infty$

Karena hal tersebut secara teoritik tak mungkin, maka oleh para ilmuwan kecenderungan itu dinamakan

Bencana Ultraviolet.



Bencana, karena bertentangan secara fundamental dengan konsep mengenai energi (tak ada energi yang tak berhingga jumlahnya); dan ultraviolet karena bencana itu (secara teoritik) terjadi pada daerah frekuensi tinggi.

Bencana ultraviolet ini menunjukkan bahwa konsep klasik mengenai ekipartisi energi tidak berlaku untuk radiasi energi termal.

Dalam usahanya untuk menerangkan radiasi thermal oleh benda sempurna hitam, planck membuat hipotesa sebagai berikut.

- a. Osilator-osilator harmonik pada permukaan benda sempurna hitam hanya dapat memiliki

energi tertentu; energi isolator itu memiliki harga diskrit yang memenuhi hubungan:

$$\varepsilon = n h \nu$$

Dalam ungkapan diatas ν adalah frekuensi osilasi, h suatu tetapan universal, dan n adalah bilangan sejati: 0, 1, 2,3,.....

- b. Penyebaran energi dari isolator, meliputi seluruh isolator yang ada menganut distribusi bolzmann sebagai berikut:

$$P(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{1}{k_B T} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{k_B T}\right) d\varepsilon$$

Dalam ungkapan diatas $P(\varepsilon) d\varepsilon$ menggambarkan kebolehjadian bahwa suatu osilator memiliki energi antara ε dan $(\varepsilon + \Delta\varepsilon)$; k_B adalah tetapan Boltzmann dan T suhu mutlak benda sempurna hitam.

- c. Apabila suatu isolator pada awalnya berada pada tingkat energi ε_1 dan kemudian pergi ke tingkat energi ε_2 yang lebih rendah, maka dalam proses itu isolator akan kehilangan energi sebesar:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = h\nu$$

Kehilangan energi itu dipancarkan sebagai radiasi termal benda sempurna hitam.

Penjelasam tiap aspek dari postulat atau hipotesa tersebut secara singkat diuraikan dibawah ini:

- a. Dalam konsep ditahun 1900, pancaran termal oleh benda sempurna hitam bersumber pada isolator-isolator yang bermukim dipermukaan benda termaksud.

Menurut teori klasik energi yang dapat dimiliki osilator adalah kontinu, artinya dia dapat memiliki semua harga antara $\varepsilon = 0$ dan $\varepsilon = \infty$. Jadi tidak terbatas pada harga-harga energi tertentu saja.

Planck untuk dapat menerangkan bentuk lengkung $S_T(D)$ mempostulatkan bahwa energi osilator yaitu diskrit.

Planck meninggalkan teori klasik tentang radiasi.

- b. Kebolehjadian $P(\varepsilon)\Delta\varepsilon$ mengatakan berapa persen dari isolator itu berada dalam selang energi tertentu ε sampai $(\varepsilon + \Delta\varepsilon)$.

Tentunya:

$$P_{total} = \int_0^{\infty} P(\varepsilon) d\varepsilon = \int_0^{\infty} \frac{\exp\left(-\frac{\varepsilon}{k_B T}\right)}{k_B T} \varepsilon$$

$$= -\exp\left(-\frac{\varepsilon}{k_B T}\right)\Big|_0^\infty = 1$$

Apabila $\varepsilon = \infty$, maka

$$P(\varepsilon) = 0$$

Artinya kebolehdjian bahwa ada osilator dengan energi tak terhingga, adalah 0.

Jadi tidak menyalahi konsep termodinamika.

- c. Jadi energi yang dipancarkan oeh osilator berasal dan transisi osilator itu dari tingkat energi yang tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah.

Energi yang dipancarkan senantiasa $\Delta\varepsilon = h\nu$.

2.5 Gelombang Dalam Partikel.

Menurut Louise de Broglie, partikel dapat bersifat seperti gelombang dengan panjang gelombang:¹²

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

dimana : $h = 6,6 \times 10^{-34}$ Js

p = momentum partikel (kg m/s)

m = massa partikel (kg)

v = kecepatan partikel (m/s)

¹² Arthur Beiser, "*Concept Of Modern Physics*", Third Edition, Mc Graw Hill Company, 1981. Hal : 74

2.7 Aplikasi dalam teori Radiasi Benda Hitam

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

Berdasarkan teori kuantum, Planck dapat menyatukan hukum radiasi Wien dan hukum radiasi Rayleigh-Jeans, dan menyatakan hukum radiasi benda hitamnya yang akan berlaku untuk semua panjang gelombang. Hukum radiasi Planck adalah

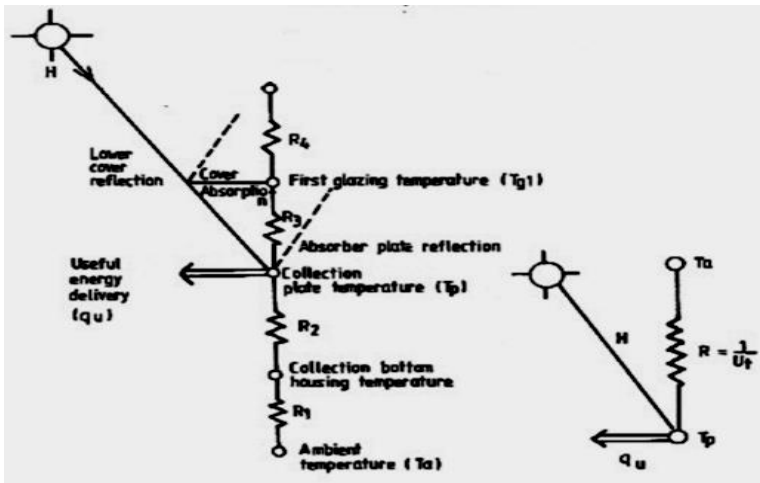
$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT}}$$

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

2.8 Penerapan Kalor Dalam Radiasi Benda Hitam

Proses penerimaan energi panas pada suatu kolektor benda partikel dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 1. Dimana energi panas matahari masuk melalui plastik penutup kolektor, selanjutnya energi panas ini sebagian diserap oleh air yang melalui pipa absorber dan

sebagian lainnya keluar kembali ke lingkungan sebagai rugi-rugi panas (*qloss*).



(Gambar 1. Skema Absorpsi energi panas pada benda (plastik) hitam)¹³

¹³ Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc Graw Hill Company. Hal : 668

Absorptivity: : $0 \leq \alpha \leq 1$; *Reflectivity*: : $0 \leq \rho \leq 1$;

Transmissivity : $0 \leq \tau \leq 1$

Besarnya kalor radiasi yang diserap melalui permukaan kolektor dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_{\text{abs}} = I_r \cdot \tau \alpha \cdot A_c$$

Dimana :

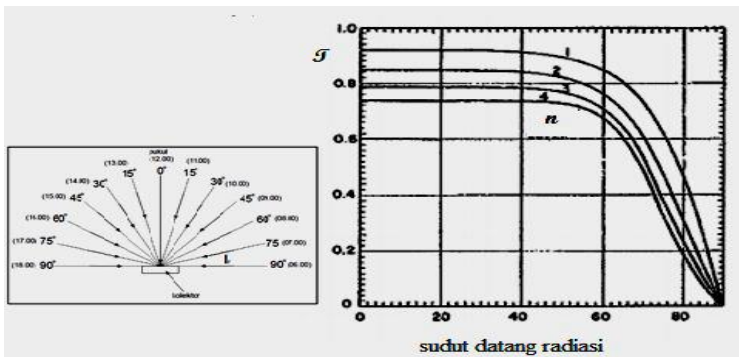
I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

α = absorpsivitas pipa tembaga yang besarnya 0.35

[Duffie]

τ = transmisivitas energi panas pada partikel benda hitam kolektor.

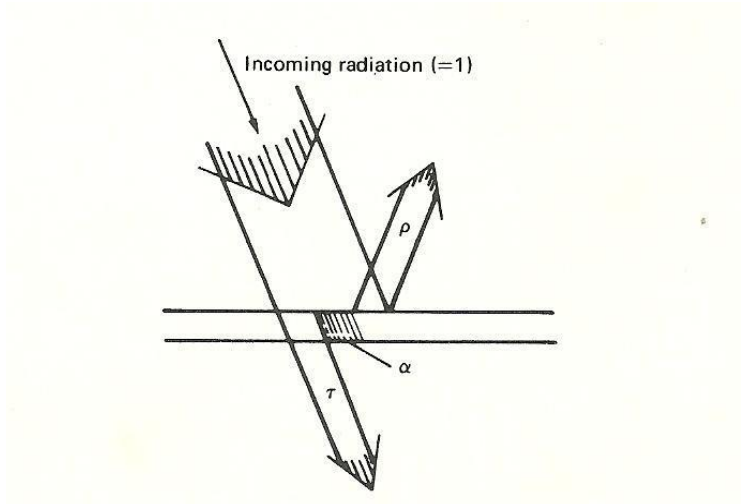
Penentuan nilai τ tergantung pada nilai sudut datang yang ditentukan berdasarkan waktu, misal jam 12 memiliki sudut datang 0° pada benda hitam. Gambar 3 menunjukkan penentuan sudut datang dan nilai transmisivitas pada permukaan benda hitam.



(Gambar 3. Transmisivitas kaca penutup terhadap sudut datang radiasi [Duffie])

Jenis benda yang dapat menyerap kalor ini membuktikan bahwa pada jenis benda tersebut terkandung frekuensi yang besar dan panjang gelombang pendek, sehingga sinar di absorpsivitas, transmisivitas, dan reflektifitas ada penyerapan pada partikel benda, Absorpsivitas , α ; Transmisivitas , γ ; Reflektivitas , ρ (dimana $\alpha+\gamma+\rho=1$)

Gelombang cahaya yang menumbuk suatu permukaan medium atau permukaan akan diabsorpsi , dipantulkan (direfleksikan) sebagian dan sebagian lagi direfraksikan (ditransmisikan). proses absorpsi pemantulan dan pentransmisian cahaya dapat diilustrasikan gambar 3.



Gambar 3. Cahaya mengalami absorpsi, transmisi dan refleksi saat mengenai suatu permukaan
Kalor yang dihasilkan pada radiasi benda hitam

dapat dicari dengan persamaan:

$$q_{abs} = mCp(T_{awal} - T_{akhir})$$

Kalor yang dilepaskan :

$$q_{loss} = hcA(T_{in} - T_{out})$$

Sehingga setiap benda atau zat dapat memancarkan radiasi elektromagnetik yang sifatnya bergantung pada sifat dan temperatur zat itu. Zat padat memancarkan spektrum yang mengandung semua frekuensi atom dalam zat padat saling berdekatan sehingga interaksinya menghasilkan sejumlah besar keadaan kuantum yang berdekatan yang tidak berdekatan dari energinya.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

Dalam Penelitian ini secara garis besar terdapat dua tahap penelitian. Pertama, tahap perancangan yaitu rancang bangun alat *portable solar water heater* memanfaatkan prinsip radiasi benda hitam. Kedua, tahap implimentasi dan pengukuran *solar water heater*.

3.1. Rancang bangun *portable solar water heater*

Pada tahap perancangan atau rancang bangun alat *portable solar water heater* memanfaatkan prinsip bahan radiasi benda hitam akan dideskripsikan alat dan bahan-



bahan serta cara pembuatan *portable solar water heater*.

Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah ssebagai berikut:

a. Bahan *portable solar water heater*

NO	Bahan	Gambar
1	Plastik (putih, hitam, biru) 40 x 50 cm	
2	Ring torn $\frac{3}{4}$ inch Seal ring torn Seal Karet $\frac{3}{4}$ "	

- b. Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan *portable solar water heater*

No	Alat	Gambar
1	<i>Impulse sealer</i>	
2	Thermometer Luxmeter Gunting <i>Cutter</i> /pemotong Penggaris	

c. Tahap pembuatan *portable solar water heater*

Tahap pembuatan *portable solar water heater*

terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

3 lembar plastik dipotong dengan ukuran 40 x 50 cm 1 plastik diantaranya diberi lubang 2 buah pada bagian ujungnya.



Plastik yang berlubang terletak di lapisan kedua, kemudian dipress menggunakan impuls sealer.



Buat lubang dibagian tengah atas plastik untuk ring toren dan seal karet.



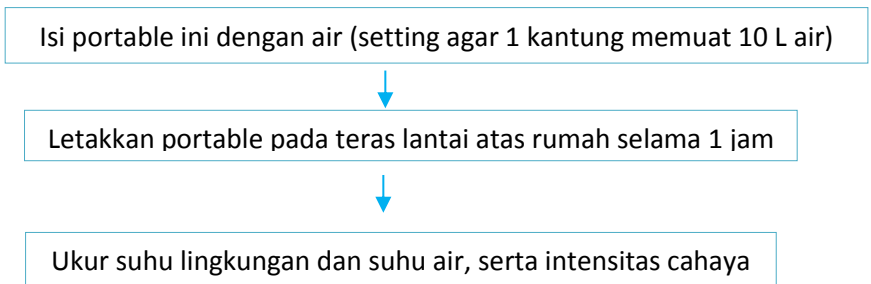
Hasil perekatan 3 lapisan plastik tersebut dibiarkan hingga 24 jam.

Adapun tahapan pembuatan *portable solar water heater* secara lengkap (beserta gambar) dapat dilihat pada Lampiran A.

3.2. Penelitian *Solar Water Heater*

Dalam tahap ini, ada dua percobaan yang dilakukan. pertama, percobaan memvariasikan warna plastik. Kedua, percobaan pada plastik yang dilapisi cat.

Dibawah ini prosedur persiapan penelitian.





Ambil data, analisis hasil, dan simpulkan

Analisis dari percobaan dan ditarik kesimpulannya. *Solar water heater Solar bag* diisi dengan air dan dijemur dibawah panas matahari, kemudian suhunya diukur setelah di jemur selama 3 jam, dari jam 09.00 samapai dengan jam 12.00 lalu dibandingkan perubahannya dengan suhu awal dan suhu lingkungan.

Adapun tahapan penelitian *portable solar water heater* secara lengkap (beserta gambar) dapat dilihat pada Lampiran B.

Penelitian yang kedua, analisis absorpsi pada berbagai plastik warna hitam. Adapun prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Potong 1 lembar plastik hitam menjadi 8 bagian dengan ukuran 10cm x10cm. Gunakan plastik lapisan dengan variasi ketebalan dengan menambahkan jumlah lapisan.

Anggap P1 adalah 1 lapisan plastik hitam, P2 untuk 2 lapis plastik hitam, P3 untuk 3 lapisan plastik.

Satu persatu lakukan pengujian daya serap termal pada plastik, ukur suhu dan intensitas cahaya yang dapat diserap oleh plastik.

Ukur waktu yang dibutuhkan plastik dalam menyerap panas. Variabel tetap disini adalah waktu dan suhu

Ambil data, analisis hasil, dan simpulkan

Analisis dari percobaan dan ditarik kesimpulannya sama halnya dengan percobaan ke 1. Solar water heater Solar bag diisi dengan air dan dijemur dibawah panas matahari, kemudian suhunya diukur setelah di jemur selama 3 jam, dari jam 09.00 sampai dengan jam 12.00 lalu dibandingkan perubahannya dengan suhu awal dan suhu lingkungan.

3.3 Perhitungan Q abs

Sinar matahari terpancar ke bumi melalui gelombang elektromagnetik, pancaran ini disebut radiasi. Radiasi berlangsung dalam ruang hampa oleh benda sebagai akibat dari radiasi termalnya. Secara umum,

radiasi terpancar berupa spektrum benda panas, hal ini bergantung komposisi benda itu (benda hitam). Benda hitam adalah benda yang dapat menyerap semua radiasi yang menuju padanya. Kemampuan memancar atau menyerap radiasi benda hitam ini dapat diperkirakan berdasarkan nilai emisivitasnya. Nilai emisivitas berkisar $0 \leq e \leq 1$. Energi termal dapat dijelaskan oleh konsep radiasi benda hitam yang diselidiki oleh Stefan-Boltzmann. Sementara, spektrum radiasi benda hitam diselidiki oleh Wien. Energi yang dimiliki benda yang berhubungan dengan suhu mutlaknya disebut energi radiasi kalor dan energi radiasi termal.

Pada tahun 1859, Gustav kirchoff membuktikan suatu teorema yang menunjukkan agrumen berdasarkan termodinamika, bahwa setiap benda dalam keadaan setimbang termaldengan radiasi daya yang dipancarkan sebanding dengan daya yang diserapnya. Untuk benda hitam, teorema kirchoff dinyatakan oleh:

$$R_f = J(f, T)$$

dengan $J(f,T)$ adalah fungsi universal (untuk semua benda) yang bergantung pada f frekuensi cahaya, dan T suhu mutlak benda.

Persamaan diatas menunjukkan daya yang dipancarkan persatuan luas persatuan frekuensi oleh benda hitam bergantung pada suhu dan frekuensi cahaya,

dan tidak pada sifat fisika atau penyusun benda. Selanjutnya, Josef Stefan (1835-1893) pada 1879 dengan hasil eksperimennya menyebutkan daya total persatuan luas yang dipancarkan pada semua frekuensi oleh benda hitam, intensitas radiasi totalnya sebanding dengan pangkat empat dari suhu mutlaknya.

$$I_{total} = \int R_f df = \sigma T^4$$

Dengan I total (intensitas radiasi pada permukaan benda hitam di tiap frekuensi), R_f (intensitas radiasi persatuan frekuensi yang dipancarkan benda hitam), T (suhu mutlak benda), dan σ (tetapan Stefan-Boltzmann), yaitu $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Untuk benda panas (bukan

benda hitam) akan memenuhi hukum yang sama, tapi koefisien emisivitasnya lebih kecil dari 1:

$$I_{total} = e\sigma T^4$$

Mengingat $I = \frac{P}{A}$, maka dapat ditulis

$$I = \frac{P}{A} = e\sigma T^4 \text{ atau } P = e\sigma AT^4$$

Dengan P adalah daya radiasi (watt = W) dan A adalah luas permukaan benda (m^2).

Berdasarkan teori kuantum, Planck menyatukan hukum radiasi Wien dan Rayleigh-Jeans, dan menyatakan hukum radiasi benda hitam yang berlaku untuk semua panjang gelombang.

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT}}$$

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

Proses penerimaan energi panas pada portable heater water dimulai dari energi matahari yang masuk melalui absorpsi plastik, selanjutnya sebagian energi tersebut diserap oleh air melalui spektrum plastik absorber dan sebagian lainnya keluar kembali ke lingkungan sebagai rugi-rugi panas (Q_{loss}).

Besarnya kalor radiasi yang diserap melalui plastik absorber dapat dinyatakan dalam persamaan (1) sebagai berikut :

$$Q_{\text{abs}} = I_r \cdot \tau \alpha \cdot A_c$$

Dimana : I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

$\tau \alpha$ = absorpsivitas plastik absorber

A_c = transmisivitas plastik kolektor

Adapun hubungan kalor terhadap temperatur bisa kita tentukan dengan menggunakan prinsip fisika tentang kalor dimana kalor yang dihasilkan pada radiasi benda hitam dapat dicari dengan persamaan:

$$q_{abs} = mCp(T_{awal} - T_{akhir})$$

Sedangkan kalor yang dilepaskan :

$$q_{loss} = hcA(T_{in} - T_{out})$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian pertama dilakukan pengukuran suhu menggunakan termometer dan intensitas cahaya menggunakan *lux* meter untuk 5 buah *portable solar water heater* dengan variasi lapisan plastik yang sama (hitam – putih bening – hitam). Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai temperatur dan intensitas cahaya dari pukul 08.30 sampai dengan 16.30 WIB.

Tabel 1. Data Pengamatan pada Tanggal 07 November 2014

Waktu	T1 (°C)	I1 (w/m ₂)	T2 (°C)	I2 (w/m ₂)	T3 (°C)	I3 (w/m ₂)	T4 (°C)	I4 (w/m ₂)	T5 (°C)	I5 (w/m ₂)
08.30	27	716	27	800	26	784	27	830	26	827
09.00	32	944	33	898	31	860	29	1087	31	944
09.30	36	1192	37	1181	35	1128	36	1214	37	1155
10.00	42	1299	42	1249	40	1235	40	1226	42	1307
10.30	43	1551	44	1448	41	1418	41	1407	48	1533
11.00	49	1826	45	1691	45	1419	43	1416	51	1722
11.30	50	1581	48	1522	45	1430	43	1289	50	1193
12.00	48	1103	46	1103	47	1103	45	131,5	50	145,7
12.30	47	337	47,5	327	47	324	45,5	310	48	357
13.00	43	139,6	44	132,8	43	127,8	43	127,8	42	133,1
13.30	42	264	43	1198,4	42	160,3	41	169,6	41	179,6
14.00	39	382	40	254	40	243	39	235	39	233
14.30	38	506	39,5	335	39	319	38	269	38	179,6
15.00	38	579	39,5	550	39	656	39	310	38	233
15.30	38	101,4	39	584	39	537	37,5	269	38	290
16.00	37	13,4	38	88,9	38	133,9	37	133,9	36	315
16.30	33	8,8	35,5	13,4	35	13,4	34	13,4	34	335

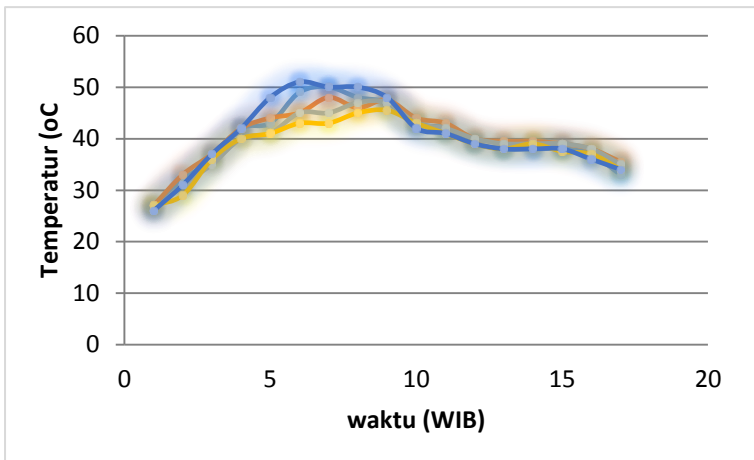
Ket : T = Temperatur (°C)

I = Intensitas Radiasi (w/m₂)

Tabel 2. Nilai konstanta pendukung pada data pengamatan

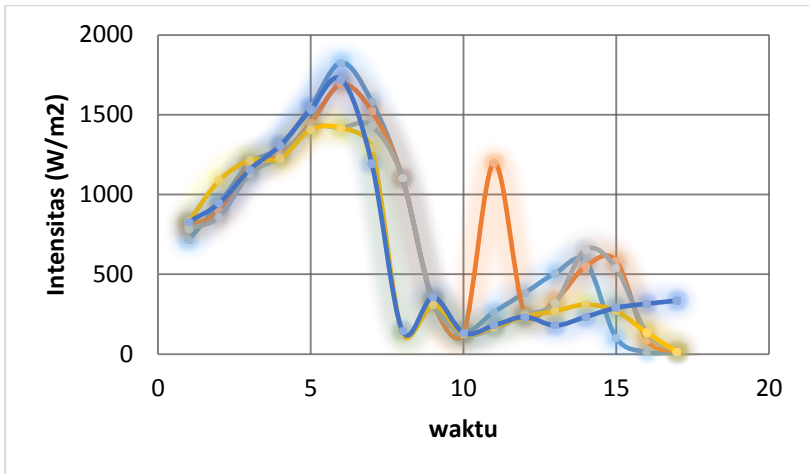
Jenis plastic	H (J.s)	c (m/s ²)	A (m ²)	Massa (gr)	C (J/gr.k)
Putih Hitam putih	6,626x10 ⁻³⁴	3x10 ⁸	17	10.000	4,1855

Adapun hasil dalam bentuk grafik distribusi temperatur air terhadap waktu dalam satu hari dapat digambarkan seperti gambar 1 berikut



Gambar 1. Distribusi Temperatur terhadap waktu untuk 5 sampel plastik dengan jenis yang sama

Sedangkan grafik pengukuran intensitas cahaya terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 2 berikut



Gambar 2. Distribusi Intensitas cahaya terhadap waktu untuk 5 sampel plastik dengan jenis yang sama

Berdasarkan hasil diatas kita dapat memastikan bahwa kualitas absorsivitas bahan plastik yang digunakan dan dibuat mempunyai kualitas yang hampir sama satu sama lain seperti yang dapat kita lihat pada grafik distribusi temperatur terhadap waktu dalam satu hari tersebut diatas. Adapun perbedaan nilai temperatur dan intensitas cahaya antar kelima sampel masih dalam batas yang wajar karena perbedaan posisi atau letak pemanasan dan pengukuran *portable solar water heater*.

Kemudian penelitian berikutnya kita lakukan dengan memvariasikan lapisan plastik. Data diambil pada tanggal 28 November 2013 dimana didapatkan nilai Q absolut pada pukul 12.00 WIB sebagai berikut:

Tabel 3. Menghitung Q absolute pukul 12.00 WIB

Jenis plastic	Tawal ($^{\circ}\text{C}$)	Takhir ($^{\circ}\text{C}$)	T ₁ ($^{\circ}\text{C}$)	Massa (gr)	C (J/gr.k)	Qabsolute
Putih Hitam putih	24	41	17	10.000	4,1855	711.535
Hitam Biru Hitam	24	41	17	10.000	4,1855	711.535
Biru Hitam Biru	24	41	17	10.000	4,1855	711.535
Hitam Putih Hitam	24	39	17	10.000	4,1855	627.825

Tabel 4. Menghitung Q loss pukul 12.00 WIB

Jenis plastic	Tin ($^{\circ}\text{C}$)	Ttingk ($^{\circ}\text{C}$)	T ₂ ($^{\circ}\text{C}$)	H (J.s)	c (m/s ²)	A (m ²)	Q _{loss}
Putih Hitam Putih	41	29	12	$6,626 \times 10^{-34}$	3×10^8	0,2	$4,76 \times 10^{-25}$
Hitam Biru Hitam	41	29	12	$6,626 \times 10^{-34}$	3×10^8	0,2	$4,76 \times 10^{-25}$
Biru Hitam Biru	41	29	12	$6,626 \times 10^{-34}$	3×10^8	0,2	$4,76 \times 10^{-25}$
Hitam Putih Hitam	39	29	10	$6,626 \times 10^{-34}$	3×10^8	0,2	$3,97 \times 10^{-25}$

Tabel 5. Temperatur Langit dan Intensitas Radiasi pukul 12.00 WIB

Temperatur langit (°C)	Intensitas radiasi (Lux)	Intensitas Radiasi (w/m ²)
41	988	1478,048

Ket : 1 lux = 0,001496 W/m²

Tabel diatas menunjukkan nilai intensitas radiasi putih hitam putih, dimana nilai itu paling tinggi diantara plastik-plastik yang lainnya.

Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa terdapat benda hitam panas yakni benda yang tingkat penyerapannya lebih tinggi diantara benda uji yang lain, dan benda hitam dingin yakni bendayang tingkat

penyerapan energinya lebih sedikit (panasnya terkalahkan dalam artian masih ada yang lebih panas). Di sini terlihat bahwa spektrum benda hitam panas mempunyai puncak frekuensi yang lebih tinggi daripada benda hitam dingin. Panas benda tersebut terukur oleh termometer digital.

Berdasarkan data yang diambil pada 28 November 2013, plastik yang menyerap kalor terbesar adalah lapisan bening-hitam-bening, ini membuktikan bahwa pada lapisan ini, energi yang terabsorpsi lebih besar dari yang teremisi. Karena plastik bening yang lebih kuat mengemisi dapat terkalahkan oleh plastik hitam yang memiliki suhu lebih tinggi ketika menyerap panas.

Plastik hitam yang terus menyerap energi dan letaknya yang berada diantara plastik bening memungkinkan energi panas dapat terperangkap didalam sehingga panas dapat menyebar dengan sempurna pada molekul air.

Pada penelitian kedua, plastik divariasikan dengan banyaknya lapisan. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 17 Januari 2014. Adapun lapisan tersebut diantaranya lapisan cat warna hitam dan coklat, dimana plastik yang digunakan hanya plastik putih - hitam - putih.

Tabel 6. Temperatur langit dan intensitas radiasi pukul 12.00 WIB

Nama lapisan plastic	Temperatur langit (°C)	Intensitas radisi (Lux)	Intensitas Radiasi (w/m ²)
2 lapis cat hitam	52	1244	1862,059
1 lapis cat hitam	49	1187	1776,022
1 lapis cat coklat	45	1098	1642,608

Ket : 1 lux = 0,001496 W/m²

Ekspirimen dilakukan dengan skema perbandingan seperti tampak pada tabel diatas. Pengujian dilakukan untuk lapisan variasi warna. Masing-masing pengujian dilakukan pengambilan data dari jam 10.00 hingga 12.00.

Berdasarkan data yang diambil pada 28 Nopember 2013, jenis plastik yang dapat menyerap kalor paling besar ialah bening-hitam-bening, ini membuktikan bahwa pada jenis plastik ini terkandung frekuensi yang besar dan panjang gelombang pendek, sehingga sinar di absorpsivitas, transmisivitas, dan reflektifitas ada penyerapan pada partikel benda

Pada penelitian kedua, plastik divariasikan dengan banyaknya lapisan. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 17 Januari 2014.

Tabel3.Temperatur dan Intensitas Radiasi pada Lapisan
Plastik Hitam

Waktu (WIB)	Temperatur langit (°C)	Jenis Plastik	Temperatur plastik (°C)				Intensitas Radiasi	
			5 sekon	10 sekon	15 sekon	20 sekon	Lux	w/m ²
10.00	30	P1	34	35	36	37	878	1,313488
10.00	30	P2	33	34	35	37	878	1,313488
10.00	30	P3	33	34	36	39	878	1,313488
10.00	30	P4	32	34	37	39	878	1,313488

Ket: 1 lux = 0,001496 W/m²

Dari tabel diatas, tampak bahwa pada waktu 5 sekon, temperatur tertinggi adalah P1 dan terendah terjadi pada P4. Karena P1 lebih tipis sehingga memungkinkan panas lebih banyak dan cepat diserap oleh partikel dalam plastik. Adapun pada saat 10 sekon, temperatur hampir sama untuk semua sample, hanya P1

lebih tinggi 1°C dari yang lain. Ketika 15 sekon, temperatur tertinggi ada pada plastik P4. Disini penyerapan terjadi lebih banyak, karena lapisan hitam yang banyak menandakan penambahan daya serapnya. Adapun pada P1 temperaturnya tidak tertinggi karena hanya 1 lapis. Sedangkan pada 20 sekon hal yang sama terjadi, temperatur tertinggi ada pada P4.

Tabel 4. Tingkat Kecepatan Plastik dalam Menyerap Energi Panas

Waktu (WIB)	Tempertur Langit (°C)	Jenis Plastik	Kecepatan plastik menyerap panas (s)			Intensitas Radiasi	
			Suhu 40 °C	Suhu 45 °C	Suhu 50 °C	Lux	w/m ²
11.00	30	P1	52	72	89	878	1,313488
11.00	30	P2	61	79	94	878	1,313488
11.00	30	P3	66	82	96	878	1,313488
11.00	30	P4	77	88	104	878	1,313488

$$\text{Ket: } 1 \text{ lux} = 0,001496 \text{ W/m}^2$$

Untuk tingkat kecepatan daya serap yang dimiliki oleh plastik hitam ini tampak dalam tabel, bahwa untuk mencapai suhu 40°C (sebagai sample diambil 3 parameter suhu tetap) P1 menghabiskan 52 detik, P2 selama 61 detik, P3 selama 66 detik, dan P4 selama 77 detik. Begitu pula untuk mencapai suhu 45°C P1 membutuhkan waktu 72 detik, P2 selama 79 detik, P3 selama 82 detik, dan P4 selama 88 detik. Terakhir, untuk suhu 50°C waktu yang dibutuhkan oleh P1, P2, P3, dan P4 berturut-turut adalah 89, 94, 96, dan 104 detik.

Setiap benda atau zat dapat memancarkan radiasi elektromagnetik yang sifatnya bergantung pada sifat dan temperatur zat itu. Zat padat memancarkan spektrum yang mengandung semua frekuensi atom dalam zat padat saling berdekatan sehingga interaksinya menghasilkan sejumlah besar keadaan kuantum yang berdekatan yang tidak berdekatan dari energinya.

Kemampuan benda untuk beradiasi sangat berdekatan dengan kemampuannya untuk menyerap radiasi. Benda pada temperatur konstan berada dalam kesetimbangan termal dengan sekelilingnya dan harus mengabsorpsi energi dari sekelilingnya dengan laju yang sama seperti benda itu mengemis energi. Namun, benda

yang mengabsorpsi semua radiasi yang jatuh padanya tapi tidak bergantung frekuensinya, inilah yang dinamakan benda hitam.

“Benda hitam meradiasi lebih banyak jika bendanya panas. Dan spektrum benda hitam panas mempunyai puncak pada frekuensi lebih tinggi daripada puncak spektrum benda hitam yang lebih dingin”.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, rancang bangun *portable water heater* telah berhasil dilakukan dengan menggunakan kombinasi lapisan warna plastik. Kualitas absorptivitas jenis plastik hitam sangat baik untuk dibuat *portable water heater* sesuai dengan prinsip radiasi benda hitam.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi lapisan warna plastik dengan memanfaatkan cahaya matahari.

Pada percobaan *solar water heater* ini didapatkan suhu paling tinggi yaitu sebesar 41°C. Adapun pancaran radiasi terbesar terjadi pada kombinasi lapisan plastik putih bening-hitam-putih bening.

Pada kombinasi lapisan putih bening- hitam putih bening, energi yang terabsorpsi lebih besar dari energi teremisi. Karena putih yang cenderung lebih kuat mengemisi akan terkalahkan oleh hitam yang lebih panas. Hitam terus menerus mengabsorpsi energi termal dan letak lapisan di antara putih memungkinkan energi tertangkap di dalam. Sehingga putih memiliki kecenderungan mengabsorpsi lebih besar daripada mengemisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Campbell, Stu., *Build your own solar water heater*,
Garden Way Associates Inc., © 1978.
- [2] Cengel Y. A, *Heat Transfer*, Second edition, Mc
Graw Hill Company.
- [3] F. P. Incropera dan D. P. DeWitt, *Fundamentals of
Heat and Mass Transfer*, 4th Edition, John Wiley &
Sons, New York, 1996.
- [4] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar Engineering Of
Thermal Processes*, Third edition, copyright@2006
by John Wiley & Sons , Inc.

[5] J. P. Holman , *Heat Transfer Text Book*, Sixth Edition, Mc Graw Hill Company, 1986.

[6] Arthur Beiser , *“Concept Of Modern Physics”*, Third Edition, Mc Graw Hill Company, 1981.

[7] Carlo, Juan. Teknik Mesin. *Tugas akhir “Heater Water Solar”*. ITB. 2013.

