

## PENGARUH VARIASI KETEBALAN ISOLATOR TERHADAP LAJU KALOR DAN PENURUNAN TEMPERATUR PADA PERMUKAAN DINDING TUNGKU BIOMASSA

**Firmansyah Burlian, M. Indaka Khoirullah**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl.Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Kec. Indralaya Ogan Ilir 30662  
e-mail: firmansyah56@yahoo.com ; indaka79@gmail.com

### *Abstrak*

*Alat penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk menukar kalor dari suatu fluida ke fluida lain melalui suatu permukaan padat karena adanya beda temperatur. Proses perpindahan kalor dapat terjadi secara langsung dan tidak langsung. Setiap permukaan yang memiliki temperatur yang lebih tinggi bila dibandingkan temperatur sekitarnya akan mengalami pelepasan kalor (kehilangan panas atau heat loss), sehingga menaikkan temperatur lingkungan menjadi lebih tinggi. Dalam penelitian ini, tingginya temperatur disekitar tungku biomassa, mengakibatkan rasa kurang nyaman para pengguna tungku. Banyaknya panas yang hilang ini tergantung pada banyak faktor, tapi temperature permukaan dan ukurannya merupakan faktor yang sangat dominan. Untuk mengurangi besarnya perpindahan panas ini, digunakan isolator termal. Dalam hal ini, isolator yang dipakai terbuat dari bahan triplek dengan variasi ketebalan 3 mm, 6 mm dan 9 mm. Dengan melapisi seluruh permukaan tungku dengan isolator triplek, panas yang keluar dari dinding tungku akan dapat dikurangi secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung ketebalan isolator yang efektif dan berapa laju kalor yang dapat dikurangi. Hasil dari penelitian ini, didapat bahwa dengan menambah ketebalan isolator 3 mm, 6 mm, sampai 9 mm, isolator dengan ketebalan 9 mm dapat meredam panas paling baik, maka nilai tahanan thermal semakin tinggi dan sebaliknya nilai laju kalor yang keluar dari permukaan tungku semakin mengecil.*

*Kata kunci:* laju kalor, heat loss, isolator, tungku biomassa

### **1. Pendahuluan**

Alat penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk penukar kalor dari suatu fluida ke fluida lain melalui suatu permukaan padat dikarenakan adanya beda temperatur. Proses perpindahan kalor dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Alat penukar kalor yang langsung, adalah fluida yang memiliki temperatur yang lebih tinggi (panas) akan bercampur secara langsung dengan fluida yang memiliki temperatur lebih rendah (dingin) dalam suatu bejana atau ruangan. Sedangkan alat penukar kalor yang tidak langsung, adalah fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin tetapi melalui media perantara berupa benda padat.

Setiap permukaan yang memiliki temperatur yang lebih tinggi (lebih panas) bila dibandingkan temperature sekitarnya akan mengalami pelepasan kalor (kehilangan panas atau *heat loss*), sehingga menaikkan temperature lingkungan menjadi lebih tinggi. Banyaknya panas yang hilang ini tergantung pada banyak faktor, tapi temperature permukaan dan ukurannya merupakan faktor yang sangat dominan. Menurut *Ekadewi Anggraini*, untuk mengurangi perpindahan panas ini digunakan isolator termal [1]. Dengan memberikan sebuah lapisan isolator (*insulation*) pada sebuah permukaan panas akan mengurangi temperature permukaan secara keseluruhan. Dengan adanya isolasi panas pada permukaan panas yang memiliki luasan permukaan yang besar (seperti pada pipa dan bejana), pengaruh relative dari pengurangan temperature permukaan tersebut akan lebih besar dampaknya dan panas yang hilang akan berkurang. Situasi yang serupa juga berlaku pada permukaan yang bertemperatur lebih rendah dari sekitarnya. Semakin rendah penahanan temperatur dan semakin tinggi tekanan kompresi akan semakin tinggi

konduktifitas termalnya, *Mandela 2011* [2]. Kerugian energi yang terjadi dapat dikurangi dengan memberikan lapisan isolator panas yang praktis dan ekonomis pada permukaan yang memiliki beda temperatur yang besar dengan sekitarnya.

Beberapa riset telah dilakukan untuk mencari cara pemanfaatan limbah pertanian sebagai material isolator panas, seperti cercal, batang pisang, scrat kelapa, batang jagung, kapas, sekam, beras, biji bunga matahari, bambu, kulit durian, dan minyak sawit.

Pada kesempatan ini, Peneliti ingin mengetahui pengaruh penggunaan isolator yang terbuat dari bahan serbuk kayu, untuk mengurangi heat loss dengan menurunkan tingginya temperatur lingkungan.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Prinsip Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor terjadi dari suatu fluida yang temperatur lebih tinggi kepada fluida yang temperaturnya lebih rendah. Kalor yang dipindahkan diantara kedua fluida itu, besarnya sangat tergantung pada kecepatan aliran fluida, arah alirannya, sifat-sifat fisik fluida, kondisi permukaan, dan luas bidang perpindahan panas serta beda temperatur diantara kedua fluida. ada 3 macam mekanisme perpindahan kalor, yaitu:

1. Secara molekuler, yang disebut dengan perpindahan kalor konduksi.
2. Secara aliran yang disebut dengan perpindahan kalor konveksi
3. Secara gelombang elektromagnet yang disebut dengan perpindahan kalor radiasi.

Dimana masing-masing sistem memiliki ciri atau karakter tertentu sesuai dengan prosesnya. Dalam suatu peristiwa, tiga cara perpindahan kalor tersebut dapat terjadi secara bersamaan.

### 2.2. Konduksi/Hantaran

Jika pada suatu benda terdapat gradien temperatur, maka akan terjadi perpindahan kalor serta energi dari bagian yang bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi atau hantaran. Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor yang mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan tetapi bersinggungan secara langsung (kontak langsung). Pada konduksi ini perpindahan kalor yang terjadi akibat kontak langsung antara molekul-molekul dalam medium atau zat tersebut tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Untuk kebanyakan zat, perpindahan kalor secara konduksi dengan mudah dapat dijelaskan dengan menggunakan teori partikel zat.

Konduksi kalor dapat dipandang sebagai akibat perpindahan kinetik dari suatu partikel ke partikel yang lain melalui tumbukan. Akibatnya partikel-partikel tetangganya bergetar dengan energi kinetik yang besar pula. Selanjutnya partikel-partikel ini memindahkan lagi energi kinetiknya ke tetangga berikutnya, demikian seterusnya. Secara keseluruhan tidak ada perpindahan partikel di zat tersebut. Ada zat yang mudah sekali menghantarkan atau merambatkan kalor, misalnya besi, baja, perak, tembaga aluminium dan jenis-jenis logam lainnya. Benda-benda yang mudah menghantarkan panas ini disebut dengan *konduktor*. Sebaliknya ada zat yang sulit merambatkan atau menghantarkan kalor, misalnya karet, plastik, kaca dan sebagainya. Zat yang sulit menghantarkan kalor ini disebut dengan *isolator*.

Adapun contoh perpindahan kalor secara konduksi di kehidupan sehari-hari adalah pegang ujung sendok makan yang terbuat dari logam sementara ujung lainnya dipanaskan diatas lilin, maka kalor dapat merambat melalui batang logam tersebut.

Untuk perpindahan kalor konduksi ini dikemukakan oleh ilmuwan Prancis, *I.B.I. Fourier*, sebuah hubungan laju perpindahan panas konduksi  $q_k$  dalam suatu bahan dinyatakan dengan:

$$q_k = -k A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

dimana:

- $q_k$  = Laju perpindahan kalor konduksi (Watt)
- $A$  = Luas penampang ( $m^2$ )
- $K$  = Konduktivitas bahan ( $W/m \cdot ^\circ C$ )
- $dT/dx$  = Gradient temperatur terhadap jarak ( $^\circ C/m$ )

Nilai konduktivitas termal merupakan sifat fisik bahan atau zat yang sangat penting dalam pemilihan untuk suatu aplikasi proses perpindahan kalor. Nilai konduktivitas termal yang tinggi menunjukkan laju perpindahan energi yang besar dan bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi disebut konduktor sedangkan yang mempunyai harga  $k$  yang rendah disebut isolator.

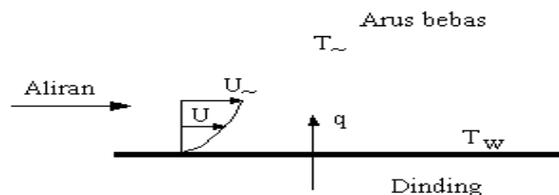
### 2.3. Perpindahan Kalor Konveksi/Aliran

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor karena berpindahnya partikel-partikel atau materi zat itu sendiri. Konveksi seringkali dikaitkan dengan mekanisme perpindahan kalor antara permukaan padat dengan fluida (cair atau gas). Misalnya, jika materi zat tersebut adalah zat cair atau gas yang berpindah adalah zat cair atau gas itu sendiri. Proses transfer energinya merupakan gabungan antar konduksi, gerakan fluida yang bersifat mencampur partikel-partikel fluida dan penyimpanan energi di dalam fluida.

Jadi secara singkat mekanisme konveksi adalah melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Pertama kalor mengalir secara konduksi dari permukaan padat ke partikel-partikel fluida yang di dekatnya.
2. Kalor ini menaikkan temperatur fluida dan energi dalamnya. Kemudian partikel-partikel yang bertemperatur tinggi bergerak ke arah partikel-partikel yang bertemperatur lebih rendah.
3. Dengan demikian timbul aliran fluida dan energi secara simultan. Energi sebenarnya disimpan pula dalam partikel-partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut.

Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan kalor dari suatu bagian ke bagian lain dari suatu fluida atau antar fluida ke fluida lain dengan adanya gerakan/aliran fluida-fluida tersebut, dimana perpindahan kalor nya dengan arah tegak lurus terhadap arah aliran fluida.



Gambar 1. Perpindahan kalor konveksi dari suatu pelat datar

Secara umum diketahui bahwa sebuah pelat logam yang panas akan menjadi lebih cepat dingin bila ditaruh didepan kipas angin dibandingkan bilamana ditempatkan di udara

tenang. Kecepatan udara yang ditiupkan ke pelat panas ini akan mempengaruhi laju perpindahan kalor. Sebagaimana terlihat pada gambar 1,  $T_w$  adalah temperatur permukaan pelat dan  $T_x$  adalah temperatur fluida. Apabila kecepatan di atas pelat adalah nol, maka disini kalor hanya dapat berpindah secara konduksi saja, akan tetapi bila fluida diatas plat bergerak dengan kecepatan tertentu, maka kalor berpindah secara konveksi, dimana gradien temperatur bergantung dari laju fluida pembawa kalor.

Laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh luas permukaan perpindahan kalor ( $A$ ) dan beda menyeluruh antara permukaan bidang dengan fluida, besaran  $h$  disebut koefisien perpindahan kalor konveksi yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = h.A( T_w - T_\infty ) \quad (2)$$

di mana:

- $q$  = Laju perpindahan kalor konveksi (Watt)
- $A$  = Luas permukaan perpindahan kalor ( $m^2$ )
- $h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2\text{ }^\circ C$ )
- $T_w$  = temperatur suatu plat ( $^\circ C$ )
- $T_\infty$  = temperatur suatu fluida ( $^\circ C$ )

Untuk keadaan yang sederhana, koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h$ ) dapat diperhitungkan secara analitis, sedangkan untuk keadaan yang rumit harus diperhitungkan dengan cara eksperimen atau percobaan. Perpindahan kalor konveksi juga tergantung pada viskositas fluida, termasuk juga ketergantungan terhadap sifat-sifat termal fluida lainnya, seperti: konduktivitas termal, kalor spesifik, dan densitas.

#### 2.4. Perpindahan Kalor Radiasi/Pancaran

Radiasi adalah proses dimana mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah, bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut. Cara perpindahan kalor ini melalui gelombang elektromagnetik dan dapat berlangsung walaupun diantara kedua benda tersebut terdapat ruang hampa. Setiap benda memancarkan kalor radiasi secara terus – menerus dan intensitas pancarannya bergantung pada temperatur benda dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya dan gejalanya menyerupai radiasi cahaya, memang menurut teori elektromagnetik yang membedakan keduanya adalah panjang gelombang.

Suatu benda dikatakan radiator sempurna atau benda hitam akan memancarkan energi radiasi dengan laju  $q_r$  yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$q_r = \sigma A ( T_s )^4 \quad (3)$$

Perbandingan yang konstan antara radiasi benda kelabu dengan benda hitam ini disebut emisivitas dari benda kelabu tersebut dan diberikan dengan symbol  $\epsilon_l$ .

Dengan demikian laju perpindahan kalor radiasi dari sebuah permukaan  $A_1$  benda kelabu pada temperatur  $T_1$  ke benda hitam yang bertemperatur  $T_2$  yang mengelilinginya adalah:

$$q_r = \sigma A_1 - \epsilon_1 ( T_1^4 - T_2^4 ) \quad (4)$$

dimana:

- $q_r$  = Laju perpindahan kalor radiasi (watt)
- $\epsilon$  = Emisivitas bahan
- $\sigma$  = Konstanta Stefan Boltzman  
( $5,669 \times 10^{-8}$  watt/  $m^2$   $K^4$ )
- $A$  = Luas permukaan ( $m^2$ )

$T_1$  = Temperatur permukaan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = Temperatur sekeliling ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 2.5. Nilai Tahanan Termal

Adapun suatu ukuran ketahanan suatu benda dalam menghambat laju aliran kalor, nilai tahanan termal suatu bahan merupakan perbandingan antara ketebalan suatu bahan terhadap konduktivitas termal bahan tersebut persatuan luas permukaan bahan tersebut.

Untuk mengetahui tahanan termal suatu dinding konduksi dapat dituliskan:

$$Q_{cond, wall} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \text{ (W)} \quad (5)$$

Maka tahanan termalnya menjadi:

$$R_{wall} = \frac{L}{kA} \text{ (}^{\circ}\text{C/W)} \quad (6)$$

dimana:

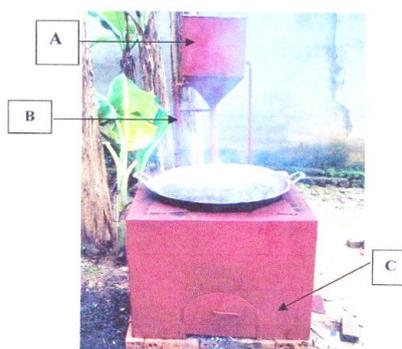
$L$  = tebal dinding (m)

$k$  = konduktivitas termal bahan ( $^{\circ}\text{C/W}$ )

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

## 3. Alat dan Bahan

### 3.1. Tungku Biomassa



Gambar 2. Tungku Biomassa

Keterangan:

A : Kotak bahan bakar

B : Intalasi pipa uap pendorong bahan bakar

C : Tutup lubang masuk bahan bakar awal

Tungku ini terbuat dari plat baja setebal 2,5 mm dengan dimensi Panjang x lebar x tinggi = (80 x 80 x 60) cm. Semua sisi dinding tungku tersebut memiliki rongga setebal 10 cm sebagai tempat memanaskan air yang akan dijadikan uap. Dalam penyalaannya tungku ini memerlukan kayu bakar sebagai bahan bakar awal dan setelah tungku menghasilkan uap, maka uap tersebut akan mendorong serbuk gergaji masuk kedalam ruang bakar. Sehingga serbuk gergaji tersebut dapat menjadi bahan bakar alternative pengganti kayu bakar.

### 3.2 Isolator

Adapun syarat-syarat isolator yang baik yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis bahan yang akan dibuat sebagai isolator panas pada dinding tungku tersebut adalah sebagai berikut:

1. Harus memiliki nilai konduktivitas termal rendah
2. Bahan yang digunakan mudah didapat.
3. Memiliki harga yang cukup ekonomis.
4. Mudah dibuat dan dipasangkan pada dinding tungku

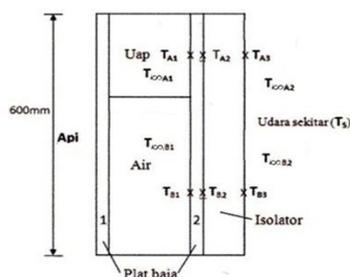
### 3.3. Mekanisme Pengujian

Masukkan air kedalam rongga dinding tungku yang telah dipersiapkan, tempelkan isolator yang akan diuji pada permukaan plat tungku, kemudian nyalakan api tungku dengan menggunakan bahan bakar kayu sebagai bahan bakar awal. Setelah kurang lebih 1 (satu) jam, maka air didalam tungku tersebut akan berubah menjadi uap, uap tersebut dialirkan untuk mendorong serbuk gergaji dari dalam kotak bahan bakar menuju ruang bakar tungku, sehingga pembakaran yang pada mulanya menggunakan bahan bakar kayu, kemudian akan dilanjutkan dengan penggunaan serbuk gergaji sebagai bahan bakarnya seiring dengan semburan uap yang dihasilkan dari penguapan air di dalam rongga tungku tersebut.

### 3.4. Parameter Pengujian

Parameter-parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi:

1. Temperatur lingkungan.
2. Temperatur dinding plat besi bagian luar tungku (sisi dalam dan luar tungku).
3. Temperature permukaan isolator.
4. Tebal isolator



Gambar 3. Potongan penampang dinding tungku

Keterangan:

- $T_{\infty A1}$  = Temperatur uap di dalam rongga
- $T_{A1}$  = Temperatur plat baja sebelah dalam pada sisi uap
- $T_{A2}$  = Temperatur plat baja sebelah luar pada sisi uap
- $T_{A3}$  = Temperatur Isolator sebelah luar pada sisi uap
- $T_{\infty B1}$  = Temperatur air
- $T_{B1}$  = Temperatur plat baja sebelah dalam pada sisi air
- $T_{B2}$  = Temperatur plat baja sebelah luar pada sisi air
- $T_{B3}$  = Temperatur Isolator sisi luar pada sisi air

### 3.5. Prosedur Pengujian

1. Siapkan semua peralatan pengujian, masukkan air sesuai dengan batas maksimal ketinggiannya kedalam rongga dinding tungku yang terbuat dari baja.
2. Periksa seluruh komponen peralatan dan alat ukur telah terpasang.
3. Kemudian tempelkan isolator ke permukaan dinding tungku.
4. Nyalakan tungku dengan kayu bakar sebagai bahan bakar awal.
5. Setelah tungku menghasilkan uap, periksa dan sesuaikan bukaan uap agar suply bahan bakar lancar.

6. Ukur temperature dinding tungku ( $T_A$ ,  $T_B$  dan  $T_C$ )
7. Pengambilan data dilakukan pada saat nyala api tungku sudah stabil (satu jam dari penyalaan).  
Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan tebal isolator yang bervariasi

#### 4. Analisa Data dan Pembahasan

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan

Pengujian	Laju Kalor Dalam Keadaan Steady		$R_{T, total}$ ( $^{\circ}C/W$ )
	$Q_A$ ( W )	$Q_B$ ( W )	
Tanpa Isolator	95401,174	20058,7	0,002044
Isolator 3 mm	254,42	57,823	0,882
Isolator 6 mm	226,6	53	1,1977
Isolator 9 mm	208,723	47,943	1,41

#### 5. Kesimpulan

1. Berdasarkan data yang telah dihitung dapat ditarik kesimpulan, bahwa dengan memasang triplek dengan berbagai ketebalan di permukaan tungku, diketahui bahwa triplek 9 mm dapat meredam panas paling baik.
2. Dengan menambah ketebalan isolator 3 mm, 6 mm, sampai 9 mm maka nilai tahanan thermal semakin tinggi dan sebaliknya nilai laju kalor yang keluar dari permukaan tungku semakin mengecil

#### Daftar Pustaka

1. Anggraini Handoyo, Ekadewi (2000). *Pengaruh Tebal Isolasi Termal Terhadap Efektivitas Plate Heat Exchanger*. Jurnal Teknik Mesin Vol.2, NO.2. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Kristen Petra
2. Mandela, Pure (2011). *Kaji Eksperimental Penggunaan Papan Serbuk Gergaji Dan Kertas Koran Sebagai Bahan Isolator Terhadap Penurunan Temperatur Dinding Tungku Biomassa*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
3. Holman, J, P. (1997). *Heat Transfer*, Eighth Edition, McGraw-Hill Companies, United States of America.
4. Cengel, Yunus A. (2004). *Heat Transfer*, 2<sup>nd</sup> Edition., McGraw-Hill Inc., New York.