

JRPB, Vol. 6, No. 2, September 2018, Hal. 156-167
DOI: <https://doi.org/10.29303/jrpb.v6i2.89>
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

EVALUASI PINDAH PANAS KOTAK PENDINGIN DARI PADUAN SEKAM PADI DENGAN RESIN

Evaluation on Heat Transfer of Cooling Box made from Combination of Rice Husk and Resin

Ni Kadek Elvin Artika¹, Sukmawaty^{2,*}), Guyup Mahardhian Dwi Putra²

¹Alumni Program Studi Teknik Pertanian, FATEPA Unram

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Pertanian, FATEPA Unram

Email^{*)}: sukmawaty14@yahoo.com

Diterima: Juli 2018

Disetujui: September 2018

ABSTRACT

Rice husk is agricultural waste that can still be functioned as heat insulator. The purpose of this study was to analyze the heat transfer occurring in cooling box made from combination of rice husk and resin. From the resulted test, the lowest thermal conductivity value of rice husk cooling box ranged from 0.111 to 0.289 W/m²K. While the highest thermal conductivity of styrofoam boxes ranged from 0.204 to 0.986 W/m²K. The difference in material thermal conductivity value will cause difference in total heat transfer rate generated. The lowest convection transfer coefficient occurred at styrofoam box with value ranged from 2.812 to 5.045 W/m² K, while the lowest occurred at rice husk box with value ranged from 1.717 to 2.217 W/m²K. The highest thermal resistance was 10.981°C/W of the rice husk box, while the lowest was 4,156°C/W of the styrofoam box. The thermal resistance indicates the ability of a material to resist the rate of heat transfer. The highest total heat transfer rate was found in the styrofoam box of 12.632 W, while the lowest was in the rice husk box of 11.845 W. The low heat transfer rate in the rice husk box indicated that the rice husk was able to resist transferred heat properly.

Keywords: *thermal conductivity, resin, rice husk, styrofoam*

ABSTRAK

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang masih dapat difungsikan sebagai isolator panas. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis perpindahan panas yang terjadi pada kotak pendingin paduan sekam padi dengan resin. Dari hasil pengujian didapatkan nilai konduktivitas termal terendah pada kotak pendingin sekam padi dengan nilai berkisar antara 0,111-0,289 W/m² K. Sedangkan nilai konduktivitas termal tertinggi pada kotak *styrofoam* berkisar antara 0,204-0,986 W/m² K. Perbedaan nilai konduktivitas termal suatu bahan akan menyebabkan perbedaan laju perpindahan panas

total yang terjadi. Koefisien perpindahan konveksi terendah terdapat pada kotak *styrofoam* berkisar antara 2,812-5,045 W/m² K, sedangkan koefisien konveksi terendah terdapat pada kotak sekam padi berkisar antara 1,717-2,217 W/m² K. Tahanan termal yang tertinggi terdapat pada kotak sekam padi sebesar 10,981°C/W, sedangkan yang terendah terdapat pada kotak *styrofoam* sebesar 4,156°C/W. Tahanan termal menunjukkan kemampuan suatu material menahan laju perpindahan panas. Laju perpindahan panas total tertinggi terdapat pada kotak *styrofoam* sebesar 12,632 W, sedangkan laju perpindahan panas terendah terdapat pada kotak sekam padi yaitu sebesar 11,845 W. Nilai laju perpindahan panas yang rendah pada kotak sekam padi menunjukkan sekam padi mampu menahan kalor yang berpindah dengan baik.

Kata kunci: konduktivitas termal, resin, sekam padi, *styrofoam*

PENDAHULUAN

Bahan pangan pada umumnya memiliki sifat mudah rusak. Kerusakan bahan pangan dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, pertumbuhan mikroba, aktivitas enzim dalam bahan pangan dan cara penanganan bahan pangan tersebut. Kondisi biologis bahan pangan sangat dipengaruhi oleh penanganan pasca panennya seperti teknik penyimpanan. Penyimpanan bahan pangan dengan cara pendinginan merupakan salah satu cara penyimpanan yang baik dilakukan untuk mempertahankan kualitas bahan pangan. Proses pendinginan umumnya tidak dapat mencegah kerusakan sepenuhnya, akan tetapi lebih rendah suhu penyimpanan akan menyebabkan penurunan bakteri dan aktivasi enzim pada bahan pangan tersebut.

Media yang digunakan dalam penyimpanan bahan pangan akan mempengaruhi keberhasilan dari proses pengawetan. Karakteristik media penyimpanan, misalnya sifat fisik seperti kekerasan dan sifat termal seperti konduktivitas termal bahan akan berpengaruh terhadap kinerja penurunan suhu bahan pangan. Jika proses pencairan es terjadi terlalu cepat, maka akan berpengaruh terhadap bahan yang diawetkan.

Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam proses

penyimpanan. Apabila suhu di dalam media penyimpanan tidak sesuai dengan yang dikehendaki atau suhu rendah di dalam media penyimpanan tidak mampu dipertahankan maka bahan pangan yang disimpan akan cepat mengalami kerusakan. Bahan yang paling baik digunakan adalah bahan yang memiliki sifat isolator.

Sekam padi merupakan hasil sampingan dari proses penggilingan padi. Dari proses penggilingan biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8-12% dan beras giling antara 50-63,5% dari bobot awal gabah (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2009). Nilai konduktivitas sekam padi sekitar 0,47 W/m K. Sekam padi memiliki nilai konduktivitas rendah sehingga telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan untuk melindungi es dari suhu lingkungan, dengan mengisolasi es agar tidak cepat mencair. Sekam padi dijadikan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kualitas genteng (Joelianingsih, 2004), sebagai bahan pembuatan silika amorf (Harsono, 2002) dan sebagai isolator panas (Wibowo, dkk., 2008).

Dalam pemanfaatan sekam padi sebagai isolator panas, sekam padi diolah menjadi papan partikel. Pengolahan sekam padi menjadi papan, sekam padi dicampur dengan bahan pengikat berupa resin. Nilai konduktivitas termal dari resin (bahan perekat) sebesar 0,24 W/m

K. Papan partikel tersebut kemudian diuji unjuk kerjanya dalam hal kemampuan menahan kalor dengan menghitung konduktivitas panasnya.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian yang berjudul “Evaluasi Pindah Panas Kotak Pendingin dari Paduan Sekam Padi dengan Resin”.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain : gergaji, penggaris, termometer, termodigital, cutter, palu, timbangan dan stopwatch. Sedangkan bahan yang digunakan adalah lem, resin, katalis, sekam padi, triplek dan es batu.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap untuk mempermudah dan memperjelas arah penelitian, yaitu persiapan bahan, tahap perancangan (desain) alat dan tahap evaluasi alat. Pengujian dilakukan pada tiga jenis kotak pendingin yaitu, kotak pendingin sekam padi, kotak pendingin styrofoam, dan kotak pendingin gabungan styrofoam dengan sekam padi. Masing-masing perlakuan dilakukan 3 kali ulangan.

Parameter Penelitian

1. Konduktivitas Termal

Nilai konduktivitas termal dapat dihitung dengan pengukuran tak langsung dengan melakukan pengukuran secara langsung dari beberapa besaran lain. Nilai konduktivitas termal dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut: (Maiwita, dkk., 2014)

$$k = \frac{M_{es} K_t x}{A \Delta T \Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

- ΔQ = Laju perpindahan panas (W)
- k = Konduktivitas termal (W/m°C)
- M_{es} = Massa es (gram)
- K_t = Kalor lebur es (80 kal/gram)
- x = Ketebalan dinding (m)
- A = Luas permukaan pindah panas (m²)
- ΔT = Perbedaan suhu (°C)
- Δt = Selang waktu terjadinya kontak termal (s)

2. Nilai Tahanan Termal

Tahanan termal suatu bahan adalah 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 per satuan luas permukaan bahan tersebut (Setiawan, dkk., 2017).

$$R_{wall} = \frac{x}{k A} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

- x = Ketebalan dinding (m)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m°C)
- A = Luas penampang (m²)

3. Perpindahan Panas Secara Konduksi

Pengukuran nilai konduktivitas termal bertujuan untuk melihat pengaruh laju dari konduksi termal dalam beberapa jenis material. Sedangkan jumlah panas yang dikonduksikan dalam material dapat dirumuskan (Pratama, dkk., 2016):

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k \cdot A \frac{(T_2 - T_1)}{x} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan:

- ΔQ = Energi panas total yang dikonduksikan (W)
- Δt = Selang waktu terjadi konduksi (s)
- A = Luas permukaan pindah panas (m²)
- ΔT = Perbedaan temperatur dari dua sisi material (K)
- x = Ketebalan material (m)
- k = Nilai konduktivitas termal (W/m K)

4. Koefisien Pindah Panas secara Konveksi Bebas/ Alamiah (Bejan dan Kraus, 2004).

a. Bilangan Reynold
Bilangan Reynold merupakan bilangan yang menunjukkan jenis aliran dari fluida.

$$Re = \frac{v \times L}{\nu} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana,

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

ν = Viskositas kinematik fluida (m²/s)

L = Ketebalan dinding (m)

b. Bilangan Grashof (Gr)

Bilangan grashof dapat ditafsirkan secara fisis sebagai suatu gugus tak berdimensi yang menggambarkan perbandingan antara gaya apung dengan gaya viskos di dalam sistem aliran konveksi bebas.

$$Gr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) x^3}{\nu^2} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

Gr = Bilangan Grashof

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

β = Koefisien ekspansi volume (1/K)

T_s = Suhu Lingkungan (K)

T_∞ = Suhu Dinding Luar (K)

x = Ketebalan Dinding (m)

ν = Viskositas Kinematik (m²/s)

c. Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl diberikan oleh persamaan (6).

$$Pr = \frac{C_p \times \mu}{k} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana,

C_p = panas spesifik (kJ/kg °C)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m s)

k = konduktivitas termal (W/m K)

d. Bilangan Rayleigh (Ra)

$$Ra = Gr \times Pr \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

Ra = Bilangan Rayleigh

Gr = Bilangan Grashof

Pr = Bilangan Prandtl

e. Bilangan Nusselt (Nu)

Jika $10^3 < Ra < 10^9 \rightarrow Nu = 0,5 Ra^{0,25}$,

$10^9 < Ra < 10^{13} \rightarrow Nu = 0,1 Ra^{1/3}$

f. Koefisien Konveksi

$$h = \frac{k}{x} Nu \dots\dots\dots(8)$$

Dimana,

h = Koefisien konveksi (W/m².K)

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

x = Panjang Kontruksi secara vertikal atau horizontal (m)

Nu = Bilangan Nusselt

5. Laju Perpindahan Panas Total

Penentuan beban panas dinding (Qd) dapat dilakukan dengan persamaan (17). Sebelumnya dilakukan pengukuran luas permukaan (A) dan ketebalan (x) dari kotak penyimpanan yang akan digunakan dalam proses pendinginan nanti. Setelah itu dilakukan pengukuran dinding kotak agar diketahui perbedaan suhu yang melewati dinding (ΔT) (Siagian, 2017):

$$Qd = U \times A \times \Delta T \dots\dots\dots(9)$$

Dengan:

Qd = Laju perpindahan panas (W)

U = Koefisien panas menyeluruh (W/m. K)

A = Luas dinding (m²)

ΔT = Perbedaan suhu luar dan dalam ruangan (K)

Untuk mencari koefisien panas menyeluruh (U) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Siagian, 2017):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{h_0}} \dots\dots\dots(10)$$

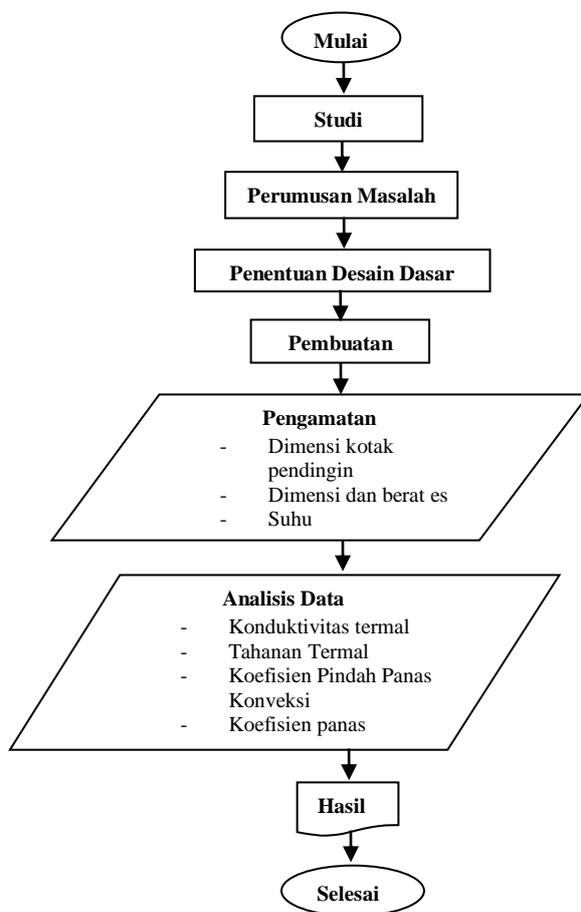
Dengan:

U = Koefisien panas menyeluruh (Watt/m².°C)

- h_0 = Koefisien pindah panas konveksi dinding dalam (Watt/m².°C)
 h_1 = Koefisien pindah panas konveksi dinding luar (Watt/m².°C)
 k_1 = Konduktivitas termal bahan (Watt/m.°C)
 k_2 = Konduktivitas termal bahan (Watt/m.°C)

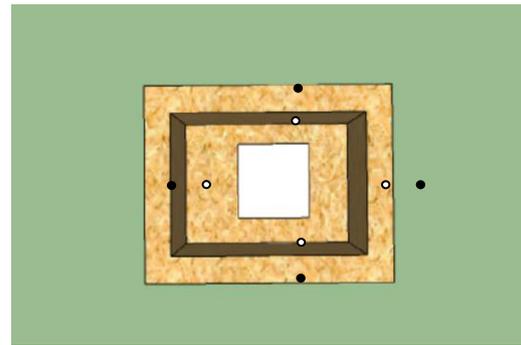
Prosedur Penelitian

Gambar 1 memperlihatkan diagram alir prosedur penelitian ini.



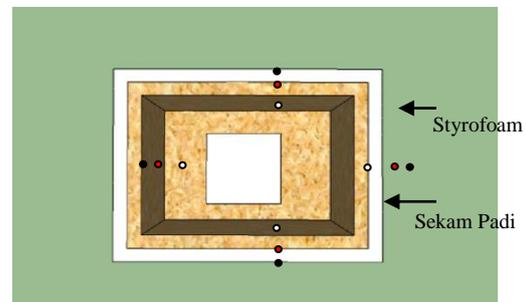
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Titik Pengukuran Suhu



Gambar 2. Titik Pengukuran Suhu (Tampak Atas)

- Keterangan:
 Titik hitam : Suhu Dinding Luar
 Titik Putih : Suhu Dinding Dalam



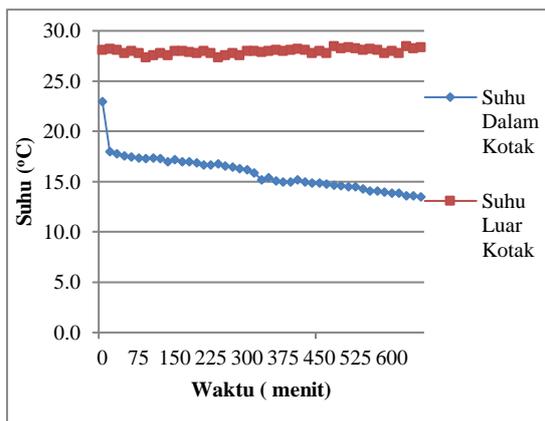
Gambar 3. Titik Pengukuran Suhu pada Dinding Rangkap (Tampak Atas)

- Keterangan:
 Titik hitam : Suhu Dinding Luar
 Titik Putih : Suhu Dinding Dalam
 Titik Merah : Suhu Dinding Antara

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Suhu Pada Kotak Pendingin Sekam Padi

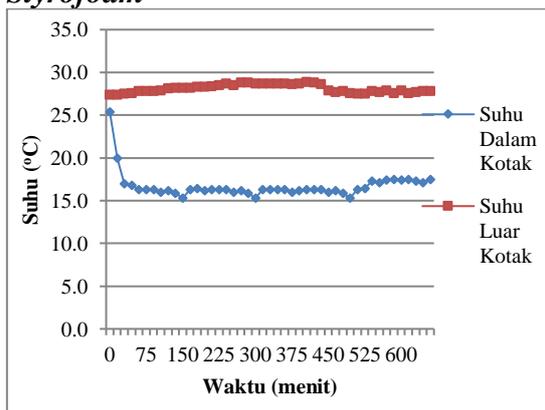
Pengukuran suhu rata-rata untuk masing-masing kotak pendingin dengan beberapa titik pengukuran. Titik pengukuran diletakkan pada bagian dalam dan luar dinding masing-masing setiap kotak pendingin. Pengambilan data suhu dilakukan dengan interval 15 menit.



Gambar 4. Profil Suhu pada Kotak Sekam Padi

Dari hasil pengujian untuk kotak sekam padi dapat dilihat pada Gambar 4. dimana suhu yang rendah adalah suhu dalam kotak dibandingkan dengan suhu luar kotak. Dimana rata-rata suhu dalam kotak adalah 15,9 °C, sedangkan suhu luar kotak 28,0 °C. Terlihat perubahan suhu yang signifikan pada suhu dalam kotak, namun suhu luar kotak tidak terjadi perubahan yang signifikan. Menurut Setiawan, dkk., (2017), hal tersebut dipengaruhi oleh rendahnya nilai konduktivitas termal material dan terhambatnya laju perpindahan panas karena adanya lapisan dinding yang berisolasi.

Styrofoam



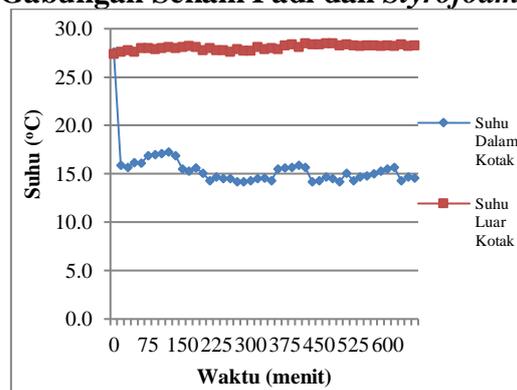
Gambar 5. Profil Suhu pada Kotak Styrofoam

Pada pengujian untuk kotak Styrofoam dapat dilihat pada Gambar 5. Dimana terjadi penurunan suhu bagian

dalam pada kotak pendingin styrofoam, sedangkan suhu bagian luar kotak pendingin tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Suhu rata-rata bagian dalam kotak pendingin adalah 16,7 °C, sedangkan suhu bagian luar kotak pendingin adalah 28,1 °C. Perbedaan temperatur bagian dalam dan luar kotak pendingin menandakan terjadinya perpindahan panas. Peristiwa penurunan suhu dalam kotak styrofoam berbeda dengan kotak sekam padi yang menunjukkan penurunan yang stabil. Penurunan suhu yang tidak stabil ini dikarenakan terdapatnya uap air yang mengenai sensor suhu, sehingga penurunan suhu pada kotak styrofoam kurang stabil.

Menurut Ubis (2015), penurunan suhu tersebut diakibatkan karena terjadinya proses sublimasi yang diawali dengan proses pindah panas konveksi antara udara di ruang es dengan balok es. Disini udara di ruang es yang mengandung energi panas bersentuhan dengan balok es sehingga sebagian es tersublimasi berubah wujud dari padat menjadi gas.

Gabungan Sekam Padi dan Styrofoam



Gambar 6. Profil Suhu pada Kotak Gabungan Sekam Padi dan Styrofoam

Sama halnya dengan kotak sekam padi dan styrofoam, kotak gabungan sekam padi dan styrofoam juga mengalami perubahan suhu antara bagian dalam dan luar dari kotak pendingin. Suhu rata-rata pada bagian dalam kotak

pendingin adalah 15,5 °C, sedangkan bagian luar kotak pendingin adalah 28,1 °C. Penurunan suhu pada kotak gabungan juga sama halnya dengan kotak *styrofoam*, hal tersebut dikarenakan terdapatnya uap air pada sensor suhu yang digunakan.

Menurut Mirmanto, dkk., (2018), bahwa laju aliran panas dari udara

menurun dengan bertambahnya *running time* kotak pendingin. Hal ini dikarenakan suhu udara di dalam ruangan kotak pendingin semakin lama semakin rendah dan akhirnya konstan. Ketika sudah konstan maka tidak ada lagi perpindahan kalor dari udara.

Tabel 4. Suhu Rata- rata Dalam dan Luar Kotak

Suhu rata-rata (°C)					
Sekam Padi		<i>Styrofoam</i>		Gabungan Sekam Padi dan <i>Styrofoam</i>	
Dalam	Luar	Dalam	Luar	Dalam	Luar
15,9	28,0	16,7	28,1	15,5	28,1

Berdasarkan Tabel 4. dapat dilihat bahwa sebaran suhu antara masing-masing kotak bagian luar dan dalam tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan suhu antara bagian dalam dan luar menunjukkan terjadinya perpindahan panas. Perpindahan panas dapat terjadi apabila adanya perbedaan suhu.

Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dari suatu bahan menunjukkan kecepatan panas mengalir dalam bahan tersebut (Holman, 1997). Menurut Mulyadi, dkk., (2010), semakin kecil nilai konduktivitas termal suatu bahan maka akan semakin baik sifat isolator termalnya.

Tabel 5. Konduktivitas Termal Material

Bagian	Konduktivitas Termal (W/m ² K)			
	Sekam Padi	<i>Styrofoam</i>	Gabungan	
			Sekam Padi	<i>Styrofoam</i>
Atas	0,269	0,696	0,249	0,574
Bawah	0,111	0,204	0,066	0,334
Depan	0,238	0,738	0,289	0,199
Belakang	0,218	0,833	0,302	0,193
Kanan	0,289	0,986	0,318	0,264
Kiri	0,288	0,935	0,304	0,281

Berdasarkan Tabel 5. dapat dilihat konduktivitas termal masing-masing jenis kotak pendingin. Kotak pendingin yang memiliki konduktivitas termal terendah adalah kotak pendingin dengan sekam padi, sedangkan yang tertinggi adalah *styrofoam*. Konduktivitas dari sekam padi untuk dinding kotak gabungan berbeda dengan kotak sekam padi, hal ini dikarenakan ketebalan dinding sekam padi yang digunakan berbeda yaitu sebesar 4 cm dan 2 cm. Sama halnya

dengan sekam padi, *styrofoam* juga memiliki ketebalan yang berbeda sehingga nilai konduktivitas termalnya berbeda pula. Oleh karena itu ketebalan bahan dan jenis bahan berpengaruh pada konduktivitas termal dari suatu bahan tersebut. Menurut Handani, dkk., (2010), sifat isolator panas dipengaruhi oleh kerapatan partikel penyusun material. Kerapatan suatu material dapat meminimalisasi terbentuknya rongga-rongga pada suatu bahan.

Menurut penelitian Wibowo, dkk., (2008), yang mengamati nilai konduktivitas termal dari *styrofoam* dan papan partikel padi mengemukakan bahwa ketebalan daripada material mempengaruhi nilai konduktivitas material tersebut. Dari hasil pengujiannya semakin tebal *styrofoam* yang digunakan, maka semakin tinggi nilai konduktivitas termal dari *styrofoam* tersebut. Sedangkan untuk papan partikel sekam padi, semakin tebal papan partikel sekam padi maka semakin kecil nilai konduktivitas termal dari papan sekam padi tersebut. Hal ini dikarenakan semakin tebal bahan maka kemungkinan

terbentuknya rongga menjadi lebih sedikit, sehingga akan menahan laju perpindahan panas yang terjadi.

Tahanan Termal pada Kotak Pendingin

Susunan hambatan termal pada dinding menggambarkan cara penentuan harga perpindahan panas dari suatu penampang dinding. Luasan permukaan yang digunakan dalam perhitungan transmisi termal disesuaikan dengan permukaan dinding yang akan dihitung (Kusuma, 2003).

Tabel 6. Tahanan Termal Material

Bagian	Tahanan Termal (°C/W)			
	Sekam Padi	<i>Styrofoam</i>	Gabungan	
			Sekam Padi	<i>Styrofoam</i>
Atas	1,349	0,522	0,729	0,316
Bawah	3,270	1,779	2,750	0,543
Depan	1,474	0,475	0,607	0,882
Belakang	1,610	0,421	0,581	0,909
Kanan	1,591	0,466	0,723	0,871
Kiri	1,596	0,492	0,756	0,818
Total	10,981	4,156	6,146	4,339

Tahanan termal pada masing-masing kotak dapat dilihat pada Tabel 6. Dimana tahanan termal pada masing-masing kotak yang paling rendah adalah kotak *styrofoam* dibandingkan kedua kotak lainnya. Kotak sekam padi memiliki nilai ketahanan termal rata-rata sebesar 10,981 °C/W, sedangkan kotak *styrofoam* memiliki nilai ketahanan termal total sebesar 4,156 °C/W, dan kotak gabungan sekam padi dan *styrofoam* memiliki nilai ketahanan termal total sebesar 10,485 °C/W. Semakin besar nilai tahanan termal suatu material, maka semakin besar laju perpindahan panas yang dapat dihambat oleh suatu material tersebut.

Nilai tahanan termal bahan dipengaruhi beberapa faktor, misalnya konduktivitas termal bahan, luas

permukaan dan ketebalan material. Kotak yang paling tinggi nilai ketahanan termalnya adalah kotak sekam padi. Hal ini dikarenakan konduktivitas termal kotak sekam padi lebih kecil dibandingkan kedua kotak lainnya. Nilai tahanan termal yang tinggi menunjukkan kotak sekam padi mampu menahan laju perpindahan panas lebih baik diantara kedua kotak lainnya.

Bilangan Reynold

Bilangan Reynold digunakan sebagai kriteria untuk menunjukkan jenis aliran turbulen atau laminar (Nevers, 2005). Berdasarkan Tabel 7. Dapat dilihat jenis aliran fluida merupakan aliran laminar karena nilai bilangan Reynold di bawah 2000. Suhu rata-rata pada kotak sekam padi sebesar

15,9 °C memiliki bilangan Reynold sebesar 1086,96. Suhu rata-rata pada kotak *styrofoam* lebih tinggi dari kotak sekam padi yaitu 16,7 °C memiliki bilangan Reynold sebesar 1081,81. Sedangkan bilangan Reynold dari kotak gabungan sekam padi dan *styrofoam* dengan rata-rata suhu kotak 15,5 °C adalah 1089,92. Salah satu faktor yang mempengaruhi bilangan Reynold antara lain suhu.

Tabel 7. Bilangan Reynold Kotak Pendingin

Jenis	Suhu rata-rata (°C)	Bilangan Reynold
Sekam Padi	15,9	1086,96
<i>Styrofoam</i>	16,7	1081,81
Gabungan Sekam Padi dan <i>Styrofoam</i>	15,5	1089,92

Semakin tinggi suhu rata-rata kotak pendingin maka viskositas kinematik dari suatu fluida akan semakin besar. Bilangan Reynold berbanding terbalik dengan viskositas kinematik dari suatu fluida tersebut. Bilangan Reynold yang tinggi menunjukkan aliran fluida yang tinggi pula. Aliran fluida yang tinggi akan menyebabkan laju perpindahan panas yang terjadi semakin cepat. Laju perpindahan panas yang semakin cepat dari lingkungan akan mempercepat

proses pencairan es batu. Rata-rata dari ketiga perlakuan, lama kotak mempertahankan es yaitu berkisar antara 33-34 jam.

Koefisien Pindah Panas Konveksi

Perpindahan panas disebabkan konveksi melibatkan pertukaran energi antara suatu permukaan dengan fluida di dekatnya. Pada dinding insulasi, perpindahan panas secara konveksi terjadi antara permukaan dinding dengan fluida yang mengalir di sekitar permukaan dinding (Welty, dkk., 2004).

Berdasarkan Tabel 8. menunjukkan bahwa perbedaan jenis material penyusun kotak pendingin memiliki koefisien perpindahan panas yang berbeda. Koefisien perpindahan panas terbesar terdapat pada kotak pendingin gabungan antara sekam padi dan *styrofoam*. Sedangkan nilai terendah pada kotak pendingin sekam padi. Perpindahan panas konveksi tergantung pada viskositas fluida, disamping ketergantungan terhadap sifat-sifat termal fluida, seperti konduktivitas termal, kalor spesifik dan densitas. Hal ini disebabkan viskositas mempengaruhi profil kecepatan. Oleh karena itu mempengaruhi laju perpindahan energi di daerah dinding. Sifat-sifat termal fluida dapat mempengaruhi bilangan Nusselt.

Tabel 8. Koefisien Pindah Panas Konveksi

Bagian	Koefisien Pindah Panas Konveksi (W/m ² K)					
	Sekam Padi		<i>Styrofoam</i>		Gabungan Sekam Padi dan <i>Styrofoam</i>	
	h _{in}	h _{out}	h _{in}	h _{out}	h _{in}	h _{out}
Atas		2,217		2,812		3,392
Bawah		1,717		5,045		4,211
Depan	6,194	2,180	6,193	2,662	6,194	3,085
Belakang		2,128		2,662		3,085
Kanan		1,802		3,249		3,249
Kiri		1,801		3,249		3,249

Nilai bilangan Nusselt (Nu) ditentukan oleh bilangan Rayleigh (Ra). Sedangkan nilai bilangan Rayleigh (Ra) ditentukan sifat-sifat termofisika fluida, seperti konduktivitas panas, kalor jenis spesifik (C_p), dan viskositas (μ), sehingga jika terjadi perubahan pada sifat termofisika fluida akan mengubah nilai bilangan Nusselt (Nazar, 2016).

Perpindahan Panas Total pada Kotak Pendingin

Berdasarkan Tabel 9. Dapat dilihat perpindahan total terbesar pada kotak pendingin styrofoam dengan nilai 12,632 W, sedangkan perpindahan total terkecil terdapat pada kotak sekam padi dengan nilai 11,845 W. Semakin kecil nilai perpindahan panas total, maka semakin besar panas yang dapat ditahan. Hal ini disebabkan karena nilai konduktivitas masing-masing bahan berbeda. Bahan yang memiliki konduktivitas termal besar merupakan penghantar panas yang baik. Sebaliknya, benda yang memiliki konduktivitas termal yang kecil merupakan penghantar panas yang buruk (Rahmi, dkk., 2017).

Tabel 9. Perpindahan Panas pada Kotak Pendingin

Bagian	Perpindahan Panas Total (W)		
	Sekam Padi	Styrofoam	Gabungan
Atas	2,217	2,072	2,583
Bawah	1,717	2,260	1,823
Depan	2,180	2,198	2,192
Belakang	2,128	2,221	2,192
Kanan	1,802	1,944	1,803
Kiri	1,801	1,937	1,808
Total	11,845	12,632	12,401

Selain itu, perpindahan panas juga dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas konveksi dan perbedaan temperatur. Hal ini sesuai dengan pendapat Setiawan, dkk., (2017), yang menyatakan bahwa perbedaan laju

perpindahan panas disebabkan oleh konduktivitas termal material dan juga dipengaruhi perbedaan temperatur dinding dalam dengan temperatur dinding luar yang mengalami kenaikan tidak signifikan.

KESIMPULAN

1. Suhu rata-rata bagian dalam kotak terendah terdapat pada kotak gabungan yaitu sebesar 15,5 °C, sedangkan tertinggi pada kotak *styrofoam* yaitu sebesar 16,7 °C. Suhu rata-rata pada bagian luar kotak sama untuk semua jenis kotak yaitu sebesar 28,1 °C. Penurunan suhu dalam pada kotak *styrofoam* dan gabungan sekam padi dan *styrofoam* kurang stabil dikarenakan terdapatnya uap air yang mengenai sensor suhu.
2. Tahanan termal total tertinggi terdapat pada kotak sekam padi dengan nilai 10,981 °C/W, sedangkan terendah pada kotak *styrofoam* dengan nilai 4,156 °C/W. Perbedaan tahanan termal setiap kotak menunjukkan sekam padi merupakan material yang mampu menahan perpindahan panas karena memiliki tahanan termal yang cukup besar.
3. Bilangan Reynold terendah terdapat pada kotak *styrofoam* dengan suhu rata-rata sebesar 16,7 °C, sedangkan bilangan Reynold tertinggi terdapat pada gabungan sekam padi dan *styrofoam* dengan suhu rata-rata 15,5 °C. Bilangan Reynold yang tinggi menunjukkan laju aliran fluida yang tinggi sehingga laju perpindahan panas akan semakin cepat terjadi yang menyebabkan es batu cepat mencair.
4. Perpindahan panas total tertinggi terdapat pada kotak *styrofoam* sebesar 12,632 W, sedangkan terendah pada kotak sekam padi

sebesar 11,845 W. Kotak sekam padi memiliki nilai konduktivitas rendah dan merupakan isolator yang baik untuk menahan laju perpindahan panas yang terjadi.

DAFTAR REFERENSI

- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2009. Sekam Padi sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani. Departemen Pertanian.
- Bejan, A., dan Kraus Andreas, D. 2004. Heat Transfer Handbook. New York: John Willey and Sons.
- Handani, Sri, Iwan Aprion, Sri Mulyadi dan Elvis Adril. 2010. Sifat Isolator Panas Papan Sekam Padi Dengan Variasi Resin dan Ukuran Partikel. Jurnal Ilmu Fisika. Volume 2 (2): 68-73.
- Harsono, H., 2002. Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi. Jurnal Ilmu Dasar. Vol. 3 (2): 98-103
- Holman, J.P., 1997. Perpindahan Kalor, Edisi Keenam. Alih Bahasa Ir. E.Jasjfi, Msc. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Joelianingsih. 2004. Peningkatan Kualitas Genteng Keramik Dengan Penambahan Sekam Padi dan Daun Bambu. Makalah Pribadi Falsafah Sains (PPS 702). ITB.
- Kusuma, I G B Wijaya. 2003. Kajian Termis pada Beberapa Material Dinding untuk Ruang Bawah Tanah. Jurnal Teknik Sipil. Volume 10 (2): 67-74.
- Maiwita, Fitri, Yenni Darvina dan Yulkifli. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Ampas Tebu dan Serbuk Gergaji Pada Papan Partikel Terhadap Konduktivitas Termal. Jurnal Pillar of Physics. Vol. 1: 41-48.
- Mirmanto, R. Sutanto, D.K. Putra. 2018. Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Varuasi Laju Aliran Massa Air Pendingin. Jurnal Teknik Mesin (JTM). Vol. 7 (1): 44-49.
- Mulyadi, Sri, Elvis Adril dan Iwan Apriono. 2010. Uji Isolator Panas Papan Sekam Padi Dengan Variasi Ukuran Partikel dan Kepadatan. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 7 (1): 26-32.
- Nazar, Reinaldy. 2016. Kajian Numerik Korelasi Perpindahan Panas Konveksi Alamiah Aliran Nanofluida ZrO_2 -Air Pada Anulus Vertikal. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology. Vol. 17 (1): 1-10.
- Nevers, N.D. 2005. Fluid Mechanics for Chemical Engineers, Third Edition. Mc Graw Hill Companies, Inc. New York, USA.
- Pratama, Nanda, Djusmaini Djamas dan Yenni Darvina. 2016. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Papan Partikel Tongkol Jagung. Pillar of Physics, Vol. 7: 25-32.
- Rahmi, Fazzatul, Zulfahrizal dan Kiman Siregar. 2017. Analisis Pindah Panas Pada Ruang Fermentasi Biji Kakao (*Theobroma cacao L.*) Dengan Menggunakan Kotak Kayu dan *Styrofoam*. Jurnal Rona

- Teknik Pertanian. Volume 10 (1): 34-45.
- Setiawan, Adi, Faisal dan Andrian Sulaiman. 2017. Kaji Eksperimental Pengaruh Lapisan Dinding dengan Material Es dan Garam pada Dinding Cold Box Terhadap Laju Perpindahan Panas. *Jurnal Polimesin*. Vol. 15 (1): 9-21.
- Siagian, Saut. 2017. Perhitungan Beban Pendingin Pada *Cold Storage* Untuk Penyimpanan Ikan Tuna Pada PT.X. *Jurnal Bina Teknik*. Vol. 13 (1): 139-149
- Ubis, S. 2015 Penyimpanan Dingin Sayur Sawi Hijau (*Brassica juncea L.*) Menggunakan Kotak Pendingin Sederhana. *Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi*. Manado.
- Welty, J.R., C.E. Wicks dan G.L. Rorrer. 2004. *Dasar-dasar Fenomena Transport*. Edisi Keempat. Terjemahan. Jakarta: Erlangga.
- Wibowo, Hary., Toto Rusianto, dan Manarul Ikhsan. 2008. Pengaruh Kepadatan dan Ketebalan Terhadap Sifat Isolator Panas Papan Partikel Sekam Padi. *Jurnal Teknologi*. Vol 1 (2): 107-111.