

Unjuk Kerja Papan Partikel Sekam Padi Sebagai Isolator Panas

Hary Wibowo¹⁾, Toto Rusianto¹⁾, Andhi Sujatmiko²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin FTI – Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta
Jln. Kalisahak No 28 Balapan. Telp. 0274-563029, Fax. 0274-563847

²⁾Jurusan Teknik Mesin FTI – IST AKPRIND
e-mail: harywib@akprind.ac.id

Abstract

Husk particle board is expected to be as diversify other types of particle board that has been there. In addition to increasing the value of the function and value added, rice husk particle board has advantages such as the ability to withstand the heat so it can be used in household appliances, building materials as well as cold storage. Particle boards from rice husk is used to study the thermal conductivity has a suppression ratio of 5:1 with a thickness of 1 cm. Further particle board formed a box to be checked and compared with the thermal conductivity styrofoam box. The results in the form of board shows the thermal conductivity of the particle board chaff (k) of $0.0945 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ and styrofoam k value of $0.1608 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$. Results form of a box of rice husk produces thermal conductivity value of $1,638 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ and k values styrofoam boxes of $3,036 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$. Performance of rice husk box to hold ice shows a comparison of the level of 1000 grams weight reduction in the rate of ice lower than styrofoam. In general, particle boards from rice husk has good insulation properties.

Keyword: particle board, rice husk, thermal conductivity, insulator.

Pendahuluan

Sekam padi sebagai limbah hasil pertanian belum begitu banyak dimanfaatkan dan dikelola dengan baik, selain digunakan sebagai bahan bakar tradisional. Sekam padi dapat dibuat sebagai papan partikel dengan mencampurkan bahan pengikat tertentu. Selain itu sekam padi mengandung unsur silika sehingga dapat digunakan sebagai bahan isolator panas [1]. Umumnya dimasyarakat untuk melindungi es balok dari suhu lingkungan secara tradisional menutupi es tersebut dengan sekam padi agar tidak cepat mencair. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa sekam padi dipercaya memiliki sifat isolator panas. Banyaknya sekam padi yang dihasilkan dari proses penggilingan yang belum dimanfaatkan secara maksimal, sehingga memberi dampak pencemaran lingkungan, walaupun dalam dasawarsa saat ini belum begitu berpengaruh terhadap kehidupan sehari-hari. Adanya potensi sekam padi yang memiliki ukuran partikel lebih kecil, sifat mekanis yang baik, elastis, ukuran stabil, memiliki permukaan yang kuat, tahan air dan tahan tekanan perlu dioptimalkan peman-fatannya. Sifat-sifat tersebut memung-kinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel dan juga sebagai bahan isolator.

Sekam padi dapat dibentuk menjadi sebuah papan partikel atau dikenal sebagai komposit, proses pembuatannya dengan mencampurkan bahan pengikat dan kemudian dipadatkan agar dihasilkan papan yang baik. Papan partikel dengan berbagai ragam campuran sekam dan bahan pengikat serta ragam pemadatan (*compression ratio*) akan menghasilkan karakteristik tertentu dari papan partikel tersebut [2].

Kemampuan sebagai isolator panas telah diteliti dengan mengetahui nilai konduktifitas termalnya. Untuk dapat dilakukan pengujian sifat konduktivitas termalnya, sekam padi sebelumnya dibuat menjadi papan partikel. Diharapkan dengan telah diketahuinya sifat konduktifitas termal, papan partikel sekam padi diharapkan dapat menggantikan papan partikel lain, dimana mempunyai keunggulan lebih tahan panas dan dapat digunakan sebagai komponen bangunan rumah, peredam panas, dan tempat penyimpanan dingin. Aplikasi papan partikel sekam padi antara lain untuk membuat meja, *ceiling*, *cold storage* maupun *fire wall*.

Dalam pembuatan komposit ini yang terdiri dari resin dan sekam padi dibatasi hanya pada pengujian konduktivitas termal dari komposit sekam padi

dengan ragam pemadatan dan dibandingkan dengan *styrofoam*/gabus. Selain sebagai papan atau plat datar untuk uji konduktivitas juga telah dilakukan dalam bentuk papan yang dibuat menjadi wadah berbentuk kotak atau *box*, fungsi dari kotak diidentikan sebagai kotak dingin/*cold storage*.

Pengujian konduktivitas termal pada papan partikel sekam padi dilakukan dengan pemberian sumber panas pada sebuah kotak uji yang terisolasi. Adapun tujuan yang dicapai dalam penelitian tersebut adalah menentukan nilai konduktivitas termal papan partikel sekam padi (komposit) sehingga dapat digunakan sebagai bahan isolator. Untuk mengetahui nilai konduktivitas termal dengan perbandingan tekanan kompaksi/pemadatan dengan rasio 4:1 terhadap sekam padi serta membandingkannya dengan gabus. Selain itu juga membandingkan nilai konduktivitas termal pada papan partikel yang wadah berbentuk kotak dengan wadah kotak dari gabus, yang digunakan sebagai kotak dingin.

Beberapa cara pengukuran dan konduktivitas termal padatan umumnya menggunakan bentuk geometris sederhana. Menurut Mindaryani [3] dengan cara tunak fluks panas diukur dan dibuat agar perpindahan panas dari sampel kelingkungan sekecil mungkin. Pada cara transient, diperlukan pengukuran suhu di dalam padatan sehingga didapat fungsi waktu. Cara ini tidak memerlukan pengukuran fluks panas. Pada penelitian ini, kayu dibentuk bola dengan ukuran diameter kurang lebih 1 cm. Penelitian dilakukan dengan air conditioning unit dihidupkan untuk mendapatkan suhu udara dengan kelembapan tertentu serta kecepatan diatur. Konduktivitas termal beberapa bahan kayu alami adalah Kayu Jati = 0,468, Kayu Mahoni = 0,413, Kayu Sonokeling = 0,389, Kayu Meranti = 0,486 dan Kayu Kamper = 0,458 J/(m.K.det).

Wibowo, dkk. [4] melakukan penelitian terhadap papan partikel sekam padi dengan menggunakan sumber energi yang berbeda besarnya variasi pemadatan. Kepadatan 3-1 dengan angka konduktivitas termal 0,133 W/m.°C pada sumber kalor 70 watt dan 0,103 W/m.°C pada sumber kalor 80 watt, menunjukkan adanya perbedaan konduktivitas termal yang berbeda dengan sumber panas yang berbeda pula, sedangkan pada perbedaan pemadatan memberikan hasil bahwa semakin besar rasio pemadatan maka nilai konduktivitas termalnya menjadi lebih kecil.

Prinsip perpindahan panas dapat terjadi jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke

bagian bersuhu rendah. Perpindahan panas ini disebut juga perpindahan panas secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal [5]:

$$\frac{q}{A} \approx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas atau tetapan kesebandingan, maka :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

Persamaan diatas berlaku untuk konduksi kalor satu dimensi. Dalam suatu dinding datar, dimana diterapkan persamaan Fourier pada persamaan (2). Jika persamaan ini diintegrasikan, maka akan didapatkan:

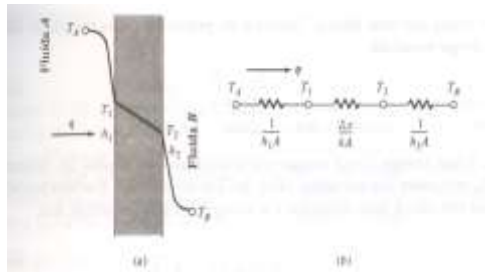
$$q = -\frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Bilamana konduktivitas termal dianggap tetap, tebal dinding adalah Δx , sedang T_1 dan T_2 adalah suhu muka dinding. Jika konduktivitas termal berubah menurut hubungan linear terhadap fungsi suhu, yaitu $k = k_0(1 + \beta T)$, maka persamaan aliran kalor menjadi:

$$q = -\frac{k_0 A}{\Delta x} \left[(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2) \right] \quad (4)$$

Bila kita perhatikan dinding datar seperti yang terlihat pada Gambar 1, dimana pada satu sisinya terdapat fluida panas A, dan pada sisi lainnya fluida B yang lebih dingin. Proses perpindahan kalor dapat digambarkan dengan jaringan resistor/tahanan. Perpindahan kalor menyeluruh dihitung dengan jalan membagi beda suhu menyeluruh dihitung dengan jumlah tahanan termal:

$$q = \frac{T_A - T_B}{1/h_1 A + \Delta x/kA + 1/h_2 A} \quad (5)$$



Gambar 1. Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar

Perhatikan nilai $1/hA$ digunakan disini untuk menunjukkan tahanan konveksi. Aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi bisa dinyatakan dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh, yang dirumuskan dalam hubungan:

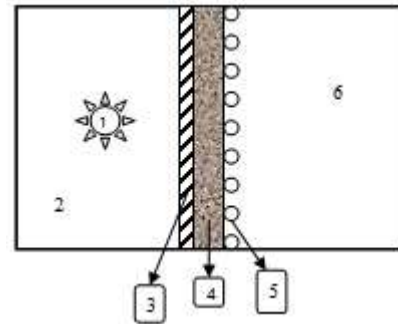
$$q = UA \Delta T \quad (6)$$

sesuai dengan persamaan (6), koefisien persamaan kalor menyeluruh adalah:

$$U = \frac{1}{1/h_1 + \Delta x/k + 1/h_2} \quad (7)$$

METODE

Pengujian konduktivitas termal disini dilakukan dengan menggunakan metode ASTM (*American Society for Testing and Materials*) [6] dengan standar kode C 177 dimana metode ini menggunakan metode penyekat plat panas. Metode ASTM disini adalah suatu metode untuk menentukan sifat konduktivitas termal dari suatu material. Spesimen pengujian yaitu papan partikel sekam padi dengan tebal 1 cm ditempatkan pada sisi berjajar dengan plat logam yang dekat ke sebuah sumber panas dan temperatur pada ruang diukur dengan menggunakan termometer. Sedang pada permukaan papan partikel tersebut diberi sembilan titik untuk pengukuran temperatur menggunakan termokopel. Skema pengujian pada plat datar seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Kotak pengujian konduktivitas termal untuk plat datar

Keterangan:

1. Sumber kalor lampu pijar 80 watt.
2. Ruang isolator sumber panas.
3. Lempeng panas (titik pengukuran suhu sumber panas).
4. Benda uji (papan partikel sekam padi).
5. Titik pengukuran suhu pada benda uji (untuk menentukan gradien temperatur).
6. Ruang terisolir dari lingkungan luar.

Prosedur pengujian konduktivitas termal adalah sebagai berikut; Ukuran papan partikel sekam padi yang akan diuji yaitu 40 x 30 cm. Sumber panas ditempatkan pada ruang isolator nomor 2. Pengukuran temperatur dilakukan pada nomor 3 dan 5 untuk menentukan gradien temperatur. Pengukuran dilakukan pada masing-masing benda uji dengan kondisi yang sama.

Metode pengujian unjuk kerja papan partikel sekam sebagai kotak dingin, dilakukan dengan membuat sebuah kotak dengan bentuk dan ukuran sama (46 cm x 31,5 cm x 29 cm) dengan kotak dari styrofoam (Gambar 3). Pengukuran konduktivitas termal pada kotak dilakukan dengan dua cara yaitu pertama dengan memberikan sumber panas lampu pijar 100 watt kemudian dilakukan pengukuran temperatur di dalam kotak maupun diluar kotak. Penelitian kedua terhadap kotak dilakukan dengan memasukkan es dalam kotak kemudian diukur pengurangan berat dari es tersebut. Selain itu pula membandingkan dengan es dalam ruang terbuka. Kemampuan dalam mengisolasi es dari udara luar menunjukkan kemampuan kotak sebagai isolator yang baik



Gambar 3. Pengukuran temperatur untuk menentukan konduktivitas termal pada (a) kotak dari papan partikel sekam padi (b) kotak gabus

Hasil Dan Pembahasan

Pengujian konduktivitas termal posisi pengujian plat datar dengan sumber panas lampu pijar 80 Watt, data-data diperoleh dari pengukuran pada termokopel, termometer digunakan untuk pembacaan temperatur ruang pengujian. Pengambilan data pertama pada alat pembaca temperatur (termokopel) dicatat pada masing-masing titik 9 titik pada plat dan 9 titik pada benda uji.

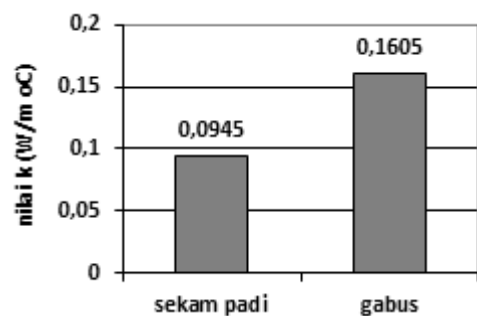
Perhitungan laju perpindahan kalor pada suatu dinding plat datar, seperti halnya dalam dinding lapisan rangkap dua, satu dimensi yang tersusun atas dua lapisan, plat aluminium dan papan partikel sekam padi. dengan menggunakan persamaan Fourier. dimana konduktivitas termal dianggap tetap dan tebal dinding Δx , sedangkan T_1 dan T_2 . temperatur muka dinding. seperti dinding lapisan rangkap dua. pada kedua bahan seperti pada Gambar 2 maka aliran kalor dapat ditulis sebagai berikut

$$k = \frac{L_{\text{sekam}} \times A_{\text{sekam}}}{T_1 - T_2 - \frac{L_{\text{plat}} \times A_{\text{plat}}}{k_{\text{plat}}}} \quad (8)$$

Dari pengukuran temperatur pada ruang uji, dinding plat dan papan partikel menunjukkan perbedaan, dimana ruang uji 2 bertemperatur lebih rendah dibanding ruang uji 1, hal ini menunjukkan bahwa papan partikel sekam padi memiliki sifat isolator yang baik. Hal tersebut juga dibuktikan dengan perbedaan temperatur yang relatif rendah antara dinding papan dengan ruang uji 2.

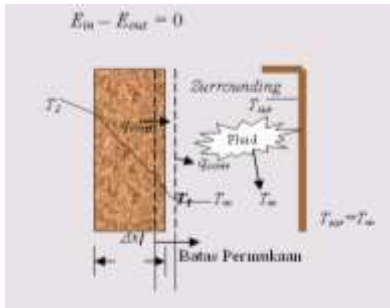
Data hasil penelitian berupa temperatur yang diperoleh dengan melakukan pencatatan dari alat ukur termokopel dan termometer, dilakukan pada saat temperatur dalam keadaan seimbang dari masing-masing ruangan pengujian yang diberi sumber kalor sebesar 80 watt dan yang tidak di beri sumber kalor. Pengujian konduktivitas termal komposit ini dilakukan dalam beberapa titik, yakni 9 titik pada ruangan yang diberi sumber panas dan merupakan T_1 serta 9 titik pada ruangan tanpa sumber panas sebagai T_2 , untuk memberi perbandingan temperatur pada masing-masing titik, sehingga diharapkan hasil pengujian benar-benar dapat mewakili semua penyebaran suhu dalam ruangan pengujian.

Hasil penelitian pada pengujian plat datar, untuk papan dengan rasio pemadatan 5:1 dan tebal 1 cm, nilai $k = 0,0965 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ dibandingkan papan gabus tebal 1 cm, nilai k sebesar $0,1605 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ (Gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan konduktivitas termal papan partikel sekam padi dan papan gabus dalam kotak uji terisolasi

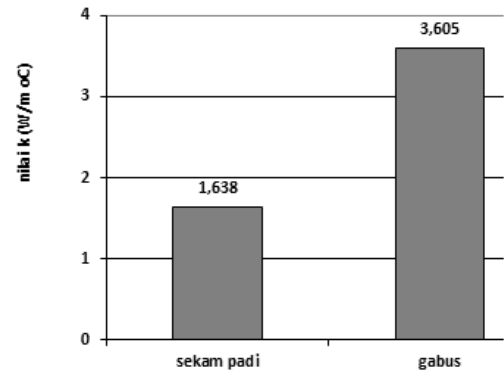
Mekanisme perpindahan kalor pada plat datar dapat digambarkan pada Gambar 5. Dimana T_2 merupakan tempat sumber kalor dalam ruang terisolasi, kalor melewati plat datar dengan ketebalan $\Delta x = 1$ cm dan T_1 dicapai pada kondisi *steady state*. Kemampuan plat sekam padi dan gabus dalam menahan laju panas merupakan unjuk kerja dari bahan tersebut. Semakin rendah temperatur T_1 maka, semakin baik kemampuan bahan dalam mengisolasi panas, atau bahan memiliki nilai k yang rendah.



Gambar 5. Keseimbangan energi untuk konservasi energi pada permukaan sebuah medium (sekam/gabus)

Unjuk kerja sekam padi yang dibuat kotak yang dibandingkan dengan gabus bahwa, hasil penelitian dari kemampuan kotak dalam mengisolasi es dari lingkungan luar dalam hal ini udara luar (suhu kamar) menunjukkan data yang menurun terhadap pengurangan berat es. Laju penurunan yang lambat menunjukkan kemampuan kotak dalam mengisolasi es lebih baik. Berikut hasil penelitian, pengujian konduktivitas termal, untuk mengetahui kerugian kalor pada sebuah media, dimana yang dimaksud dalam pengujian disini adalah kotak papan partikel sekam padi dan kotak gabus.

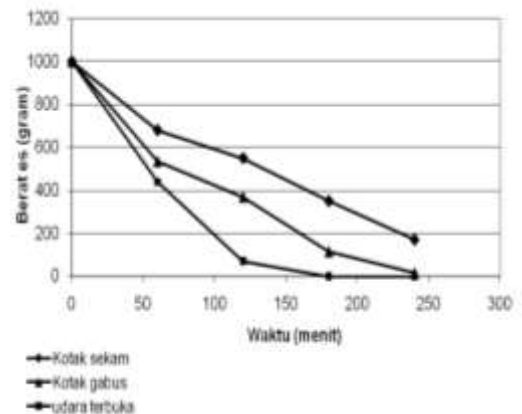
Kotak sekam padi dengan tebal pengepresan 1 cm dengan pemberian sumber kalor 100 watt, memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 1,638 W/m.°C. Sedangkan pada kotak gabus dengan ketebalan 1 cm sebesar 3,06 W/m.°C (Gambar 6).



Gambar 6. Perbandingan konduktivitas termal kotak dari papan partikel sekam padi dan kotak gabus (Styrofoam)

Jadi bahan yang memiliki nilai k terkecil sebagai kotak dingin ditunjukkan pada kotak dari papan partikel sekam padi atau dapat dikatakan sifat isolasi terhadap panasnya lebih baik dibandingkan gabus.

Pengujian kotak dengan metode lain yaitu dengan memasukkan es dengan berat 1000 gr dalam kotak tertutup dan diletakkan pada lingkungan terbuka. Kemampuan kotak dalam mengisolasi panas adalah dengan mengukur penurunan berat es. Gambar 7 memperlihatkan hasil penurunan berat es yang mencair terhadap fungsi waktu.



Gambar 7. Perbandingan kemampuan antara kotak partikel kotak gabus dengan udara luar (suhu luar) dalam mempertahankan temperatur terhadap es.

Kemampuan kotak gabus dalam mempertahankan suhu es sebesar 1000 gram menunjukkan penurunan yaitu pada jam pertama es yang tersisa 535 gram, pada jam kedua menjadi 370 gram, pada jam ketiga menjadi 115 gram dan pada jam keempat es yang tersisa tinggal 15 gram. Pada kotak partikel kemampuan menahan suhu es sebesar 1000 gram

lebih baik dibandingkan kotak gabus, yakni di jam pertama es yang tersisa 680 gram, pada jam kedua menjadi 550 gram, pada jam ketiga menjadi 350 gram dan pada jam keempat es yang tersisa tinggal 170 gram. Sedangkan es yang ditaruh diluar (udara bebas) pada jam kedua es mulai habis.

Penyelesaian matematik dari persamaan kurva tersebut yang merupakan persamaan eksponensial. Bahwa perubahan berat (dm) terhadap perubahan waktu (dt) merupakan fungsi dari pengurangan berat awal (m) dan sifat bahan isolator panas (k).

Pendekatan persamaan matematik tersebut :

$$\frac{dm}{dt} = -mk \quad (9)$$

$$\ln m = -kt$$

$$m = Ce^{-kt} \quad (10)$$

Syarat batas untuk berat awal, $m_0 = 1000$ gr pada kotak sekam, pada $t_0 = 0$, masa awal $m_0 = 1000$ gr, pada waktu $t_1 = 120$ menit, masa tersisa adalah $m_1 = 550$ gr, begitu pula untuk perhitungan pada kotak gabus dan es di udara terbuka.

Konstanta C pada persamaan 10. dengan syarat batas pertama pada $t_0 = 0$, $m_0 = 1000$ gr adalah

$$1000 = Ce^{-k \cdot 0}$$

$$C = 1000$$

$$C = m_0$$

$$m = m_0 e^{-kt} \quad (11)$$

Untuk nilai k ditentukan dengan syarat batas kedua berdasarkan data di atas. Dari persamaan 11, untuk perhitungan kotak sekam:

$$550 = 1000e^{-k \cdot 120}$$

$$k = 0,005 \text{ gr/mnt}$$

Berdasarkan perhitungan penyelesaian persamaan matematik tersebut terhadap masing-masing kurva laju penurunan berat sebagai fungsi terhadap waktu adalah:

$$\text{kotak sekam, } m = m_0 e^{-0,005t}$$

$$\text{kotak gabus, } m = m_0 e^{-0,008t}$$

$$\text{udara terbuka, } m = m_0 e^{-0,022t}$$

Dari persamaan di atas menunjukkan bahwa semakin

besar nilai laju pengurangan berat, maka semakin cepat pula laju penurunan berat terhadap waktu atau kemampuan bahan untuk mengisolasi suhu semakin berkurang.

Sekam padi menunjukkan unjuk kerja yang baik sebagai isolator panas, hal yang menyebabkan kemampuan tersebut adalah adanya kandungan silika (SiO_2). Bahan silika yang terkandung dalam sekam padi merupakan bahan keramik yang bersifat isolator, komposisi kimia kandungan silika dalam sekam 15% - 20%, sedangkan dalam bentuk abu sekam padi kadar silika bervariasi dari 85% - 90% [7] [8]. Adanya kandungan silika dalam sekam padi dapat memberikan sifat isolator (nilai k untuk silika adalah $1,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) [9] [10]. Selain itu juga bahan penyusun sekam padi dari bahan selulose dengan kandungan mencapai 50% [11] dan sekam padi dalam bentuk papan partikel mengandung void yang dapat memberikan sifat isolator pula. Bahan yang baik untuk digunakan sebagai isolator panas memiliki nilai konduktivitas panas sekitar $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, sehingga sekam padi merupakan isolator panas yang baik, penggunaan dapat diterapkan sebagai isolator pada mesin-mesin pendingin dan pemanas.

Kesimpulan

Nilai konduktivitas termal papan partikel sekam padi dipengaruhi oleh perbandingan kerapatan pengeperasan dan sumber kalor yang diberikan, dengan pemberian sumber kalor 100 watt, nilai konduktivitas termal papan partikel sekam padi sebagai dengan rasio pemadatan 5:1 dengan tebal 1 cm, nilai $k = 0,0965 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, sedang pada papan gabus nilai konduktivitas termal $0,1608 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, pengujian dengan metode plat datar.

Pengujian dalam bentuk kotak dengan ukuran $46 \text{ cm} \times 31,5 \text{ cm} \times 29 \text{ cm}$, dengan pemberian sumber kalor 100 watt, dengan tebal 1 cm nilai konduktivitas termalnya sekam sebesar $1,638 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Nilai k kotak gabus sebesar $3,036 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Kemampuan kotak gabus dalam mempertahankan suhu es seberat 1000 gram menunjukkan penurunan seiring dengan kenaikan suhu lingkungan (sekitar) yaitu dari jam pertama sampai dengan jam ke-4 es yang tersisa tinggal 15 gram.

Pada kotak partikel kemampuan menahan suhu es seberat 1000 gram lebih baik daripada kotak gabus yakni dari jam pertama sampai dengan jam ke-4 es yang tersisa lebih banyak dari kotak gabus, yaitu 170 gram.

Sedangkan es seberat 1000 gram yang ditaruh diluar (udara bebas) pada jam ke-2 es mulai habis, yakni tinggal 70 gram dan mulai dijam ke-3 pada menit ke 30 es mulai habis. Sekam padi memberikan sifat isolator panas yang lebih baik dibandingkan gabus

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DP2M) Dirjen Dikti 2007 yang telah membiayai penelitian ini dan juga kepada saudara Ellyawan Setyo Arbintarso, dan Khairul Muhajir, yang telah membantu dalam pemikiran penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Smith F. W., 2004, “*Principles of Materials And Engineering*” 3rd Edition, Mc Graw Hill Inc. New York.
- Rusianto, T., Ellyawan, S.A. 2009, “Karakteristik Papan Partikel Sekam dari Padi” “*Jurnal Teknik Mesin*” ISSN 1411-9471. Volume 9 nomor 1, Januari 2009 63-68.
- Mindaryani, Aswati dan Farida Cahyani., 2001, “Konduktivitas Panas Berbagai Jenis Kayu dan Koefisien Perpindahan Panas Kayu dan Udara Dalam Kolom Fluidasi”. *Jurnal “Media Teknik”*, no. 4 Tahun XXIII edisi Nopember 2001 ISSN 0216-3012
- Wibowo, Hary., Toto Rusianto, Ellyawan S.A, Khairul M., 2008., “Konduktivitas Termal Papan Partikel Sekam Padi” *Jurnal “Teknologi Technoscientia”* ISSN: 1979-8415 Vol. 1 No. 1 Agustus 2008
- Holman, J.P., 1997, “*Heat Transfers*” Mc. Graw Hill Book Co.
- ASTM International, 2008 “Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus” <http://www.astm.org/Standards/C177.htm>, diakses 15 Nopember 2008.
- Bakar, Abu, B.H., Ramadhansyah Putrajaya C and Hamidi Abdulaziz., 2010, “Malaysian Rice Husk Ash – Improving the Durability and Corrosion Resistance of Concrete”. “*Concrete Research Letters*” ISSR Journals Vol. 1 (1) March 2010.
- A. A. Ramezaniapour, M. Mahdi khani, Gh. Ahmadibeni., 2009, “The Effect of Rice Husk Ash on Mechanical Properties and Durability of Sustainable Concretes” *International Journal of Civil Engineerng.* Vol. 7, No. 2, June 2009 page 88 -91

Y.M.Z. Ahmed, E.M. Ewaisa and Z.I. Zaki, 2008., “Production of porous silica by the combustion of rice husk ash for tundish lining” *Journal of University of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material* Volume 15, Issue 3, June 2008, Pages 307-313