

# Eksperimen *Wall Insulation* pada Dinding Komposit Prototipe *Reefer Container* ½ Ton Menggunakan Campuran Serat Kapas dan Polyurethane

Yasmine Noor Ramadhani, Sutopo Purwono Fitri, dan Alam Baheramsyah  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: sutopopf@gmail.com

**Abstrak**—Untuk mengatasi peningkatan konsumsi energi, penggunaan energi secara efektif dan pengembangan sumber energi terbarukan menjadi fokus utama. Insulasi adalah salah satu cara untuk menghemat energi yang sudah diterapkan pada *reefer container*. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem insulasi pada prototipe *reefer container* dengan menggunakan bahan serat kapas dan *polyurethane*. Metodologi penelitian ini dilakukan dengan membuat perancangan desain struktur dinding komposit dengan bahan campuran serat kapas dan *polyurethane*, melaksanakan modifikasi desain struktur dinding prototipe dengan komposisi campuran serat kapas dan *polyurethane* 50%:50% dan melakukan pengujian kinerja untuk menganalisa kinerja termal terhadap suhu dan waktu pada prototipe. Pengujian termal dilakukan dengan beban produk seberat 20% dari total massa kargo dan tanpa beban produk pada prototipe *reefer container* ½ ton berdinding komposit *polyurethane* murni dan berdinding komposit campuran serat kapas dan *polyurethane*. Berdasarkan pengujian dan analisa data, didapatkan ketebalan dinding komposit campuran yang mana ketebalan serat kapas sebesar 0,696 cm dan ketebalan *polyurethane foam* sebesar 3,5cm. Dari percobaan yang dilakukan diketahui bahwa dalam insulasi pada dinding komposit *polyurethane* murni suhu udara dalam mengalami kenaikan suhu udara sekitar 2 jam tiap derajatnya ketika berisi muatan, dan saat tanpa muatan. Pada dinding komposit bahan campuran suhu udara dalam mengalami kenaikan suhu udara sekitar 54 menit tiap derajatnya ketika berisi muatan dan saat tanpa muatan mengalami kenaikan suhu udara sekitar 46 menit tiap derajatnya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dinding insulasi komposit *polyurethane* murni memiliki kinerja lebih baik dalam mempertahankan suhu udara dingin dibanding dinding insulasi komposit campuran 50% serat kapas dan 50% *polyurethane*.

**Kata Kunci**—Insulasi Termal, *Reefer Container*, Serat Kapas, *Polyurethane*.

## I. PENDAHULUAN

MENINGKATNYA kebutuhan energi dunia diakibatkan oleh meningkatnya jumlah populasi serta standar hidup manusia [1]. Minyak bumi fosil masih eksis digunakan sebagai bahan bakar penghasil energi di dunia meskipun jumlahnya semakin menipis dan tidak dapat diperbarui. Karena semakin sedikit jumlah bahan bakar fosil, maka harganya juga semakin melambung dengan emisi yang cukup merugikan bagi lingkungan.

Penggunaan energi secara efektif sedang diusahakan untuk mengatasi terbatasnya bahan bakar fosil sebari mengembangkan teknologi dengan sumber energi terbarukan. Konservasi energi yang dilakukan untuk menghemat energi, salah satu contohnya adalah *insulation* atau insulasi. Insulasi adalah kegiatan melindungi sesuatu

dengan suatu bahan yang bisa mencegah panas, suara, dan lain sebagainya.

Dalam penerapan yang dapat ditemukan kehidupan sehari-hari adalah pada cold storage yang dalam dunia maritim biasanya kita temukan pada *reefer container*. *Reefer container* adalah kontainer berpendingin yang digunakan untuk menyimpan produk mudah busuk seperti produk pertanian dan peternakan. Penggunaan *reefer container* dalam menyimpan produk-produk ini juga menggunakan energi yang cukup besar karena *reefer container* harus mampu mendinginkan muatannya pada suhu tertentu pada kondisi cuaca apapun [2]. Energi yang dikonsumsi *reefer container* bisa mencapai 2,7 kW/TEU. Jumlah konsumsi energi ini semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan *reefer container*, dimana pada studi pada tahun 2010 jumlah energi yang digunakan *reefer container* meningkat sebesar 60% karena berbagai macam faktor [3]. Sehingga kemudian *thermal insulation* diterapkan pada *reefer container*.

Dalam prinsip isolasi termal, pemasangan isolasi yang tepat menggunakan bahan tertentu dapat mengurangi *heat gains* atau perolehan panas [4]. *Heat gains* pada permukaan suatu ruang penyimpanan dingin dapat mengakibatkan konsumsi energi listrik dalam jumlah yang besar untuk menjaga suhu tertentu di dalam tempat penyimpanan [5].

*Heat gains* pada *reefer container* umumnya terjadi pada bagian eksternal seperti dinding karena perbedaan temperatur di dalam dan di luar *reefer container*. Faktor lingkungan seperti radiasi sinar matahari pada permukaan *reefer container* dapat menyebabkan peningkatan suhu pada dinding kontainer dan meningkatkan jumlah energi yang dikonsumsi [6]. Pemasangan insulasi pada dinding *reefer container* dengan ketebalan tertentu dapat mengurangi perpindahan kalor sehingga dapat menjaga temperatur *reefer container*.

Dinding insulasi memiliki jenis bahan yang berbagai seperti *extruded polystyrene*, *rock wool*, *polyurethane* dan serat kapas [5]. Setiap jenis bahan insulasi memiliki konduktivitas termal yang berbeda-beda. Konduktivitas termal sendiri adalah besaran intensif bahan untuk mengetahui nilai perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material, dan juga menunjukkan baik buruknya suatu material dalam menghantarkan panas. Dari berbagai jenis bahan insulasi, nilai K (konduktivitas termal) yang dimiliki serat kapas cukup rendah yakni sekitar 0,015 W/mK. Sehingga apabila serat kapas digunakan sebagai dinding komposit *reefer container* yang akan memiliki potensi sebagai *thermal insulation* yang baik serta hemat



Gambar 1. Pertumbuhan Perdagangan Reefer Internasional.

energi karena banyak tersedia di alam dan terbarukan.

## II. URAIAN PENELITIAN

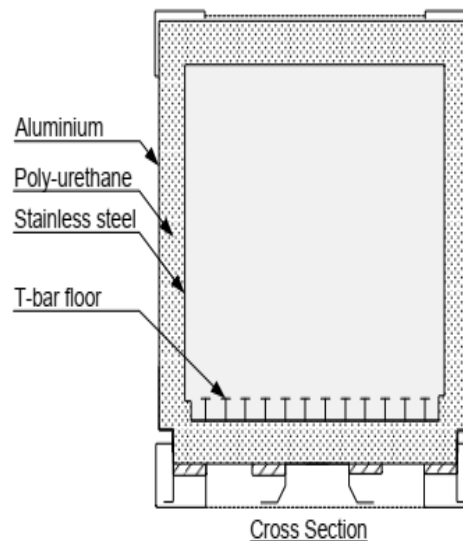
### A. Reefer Container

*Reefer Container* adalah salah satu jenis peti kemas dengan sistem pendingin tertutup untuk mengawetkan dan menjaga temperatur komoditi atau muatan yang ada di dalamnya [7]. Muatan yang diangkut menggunakan *reefer container* umumnya adalah komoditi yang mudah membusuk seperti produk pertanian, perkebunan, peternakan serta perikanan. Supaya tidak mudah membusuk ketika sebuah komoditi pertanian atau peternakan diekspor maka produk perlu dijaga suhunya agar rendah dengan kelembaban yang sesuai agar kualitas muatan terjaga. Banyak negara yang mengekspor buah dan sayurannya ke pasar internasional sehingga penggunaan *reefer container* semakin meningkat. Permintaan untuk transportasi produk berpendingin naik setiap tahun menurut studi yang dilakukan Thomas Taro Lennerfors dan Peter Birch pada tahun 2019 yang bisa dilihat pada Gambar 1.

Terdapat dua macam *reefer container* yaitu *porthole* yang tidak memiliki sistem refrigasi sendiri tetapi disupli dengan udara dingin dan *integrated system* yang dilengkapi sistem refrigerasi yang ditenagai sumber eksternal [8].

Pada *reefer container* dengan sistem terintegrasi terpasang unit mesin pendingin yang komponennya menyatu dengan kontainernya dimana kerja dari unit mesin pendingin tersebut bergantung pada sumber daya listrik yang ada di kapal maupun di dermaga. Mesin pendingin yang digunakan pada *reefer container* adalah unit mesin pendinginan 3 fase [8]. Udara dingin yang dihasilkan mesin pendinginan mengalir ke bagian bawah ruang kargo melalui profil lantai kontainer yang berbentuk *T-Bar*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.

Untuk menjaga suhu di dalam ruang kargo tidak dipengaruhi oleh lingkungan, *reefer container* memiliki insulasi pada dinding kontainer dan permukaannya dicat putih untuk mengurangi radiasi sinar matahari. Seluruh *reefer container* yang ada di dunia menggunakan standar ISO (*International Standard Organisation*) untuk menstandarisasi



Gambar 2. Profil Lantai T-Bar Reefer Container.

ukuran kontainer. Umumnya yang sering dijumpai adalah *reefer container* ukuran 20 feet atau 40 feet.

Muatan *reefer container* dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu [9]:

1. *Frozen Cargo*, berupa muatan yang telah membeku keras untuk menghindari pertumbuhan bakteri atau mikroorganisme yang dapat merusak muatan.
2. *Chilled Cargo*, berupa muatan yang harus segera didinginkan.
3. *Temperature Regulated Cargo*, berupa muatan yang didinginkan dengan suhu di atas 0°C.

### B. Insulasi Termal

Insulasi adalah kegiatan melindungi sesuatu dengan suatu bahan yang bisa mencegah panas, suara, dan lain sebagainya. Jenis insulasi dapat meliputi insulasi bangunan, insulasi termal, insulasi listrik dan lain sebagainya. Insulasi yang penulis bahas adalah insulasi termal dimana insulasi termal adalah suatu metode yang digunakan untuk mengurangi laju aliran perpindahan panas. Perpindahan panas sendiri dapat terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi. Bahan yang menjadi isolator atau insulator digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas. Fidyah Fajar Cahyani (2022) menjelaskan bahwa sebagian besar material memiliki tiga bagian besar tipe insulasi, yaitu:

1. *Resistive insulation*, yang mana nilai resisten pada proses konduksi digunakan untuk menghambat aliran panas.
2. *Reflective insulation*, yang mana material dengan bentuk dan warna tertentu bisa mengurangi aliran radiasi panas, semisal penyerapan panas paling bagus oleh material dengan warna hitam.
3. *Capasitive insulation*, yang mana memanfaatkan penundaan aliran panas dalam material untuk dapat memindahkan kondisi puncak aliran panas pada waktu yang dibutuhkan.

Insulasi termal dapat diterapkan pada penyimpanan berpendingin, dimana material insulasi yang terpasang pada dinding-dinding ruang penyimpanan menjaga temperatur di dalamnya. *Reefer container* yang merupakan peti kemas berpendingin memiliki lapisan insulasi untuk menjaga temperatur ruang kargonya.

Tabel 1.  
Nilai Konduktivitas Termal Beberapa Material

No.	Material	Konduktivitas Termal (W/m°C)
1.	Soft Wood	0.11 - 0.16
2.	Hard Wood	0.11 - 0.255
3.	Plywood	0.14
4.	Aluminum Alloy	221
5.	Mild Steel	45.3
6.	Fiberglass Reinforce Plastic	0.036
7.	High Tensile Polyethylene	0.5
8.	Kulit Baja Kapal	0.72
9.	Rongga Udara	0.107
10.	Styrofoam	0.033
11.	Plester Beton	0.72
12.	Jenis Kayu	0.15
13.	Serat Material	0.039
14.	Lempengan Gabus	0.043
15.	Polystyrene	0.03
16.	Polyurethane	0.025
17.	Plaster Aspal Gips	0.056
18.	Udara Diam	0.103
19.	Serut Gergaji	0.065
20.	Tebu	0.046
21.	Sekam + Polyurethane (72% + 28%)	0.029

C. Data Konduktivitas Termal

Konduktivitas Termal adalah besaran intensif material untuk mengetahui nilai perpindahan energi yang terjadi karena perbedaan suhu antara lingkungan dan benda yang disimpan. Konduktivitas termal digunakan untuk mengukur seberapa baik sebuah material dalam menghantarkan energi panas. Konduktor sendiri memiliki pengertian sebagai material yang dapat menghantarkan panas dengan baik. Tabel 1 memuat nilai konduktivitas termal beberapa material [10].

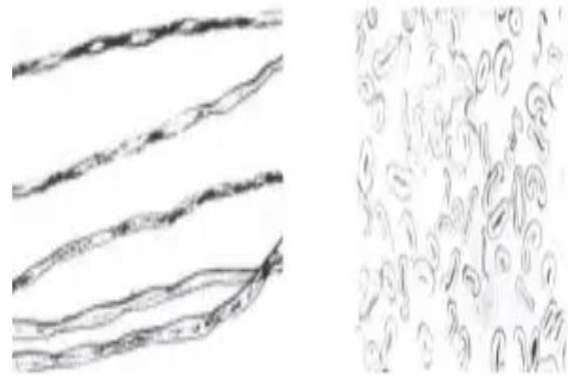
D. Serat Kapas

Serat kapas atau yang biasa dikenal dengan nama latin *Gossypium sp.* adalah material organik yang berwarna putih, berupa serat dan banyak tumbuh di daerah beriklim tropis dan subtropis. Ditemukan lebih dari 7.000 tahun yang lalu, serat kapas banyak digunakan dalam industri tekstil dunia.

Secara fisiologi, kapas memiliki bentuk yang memanjang, berongga dan terlihat seperti pita yang terpilin. Serat kapas memiliki struktur kimia berupa selulosa dan polimer linier. Komposisi yang tergantung dalam serat kapas terdiri dari selulosa, protein, minyak, lilin, dan substansi pektin. Penampang serat kapas ditunjukkan oleh Gambar 3.

Sebagai salah satu serat organik yang dapat digunakan sebagai bahan komposit, serat kapas memiliki kelebihan yaitu ramah lingkungan, ringan, kuat, terbarukan, murah, dapat terurai secara alami dan berkelanjutan. Namun serat kapas juga memiliki kekurangan yaitu memiliki tingkat penyerapan air yang cukup tinggi [11]. Serat kapas diperoleh dari biji tanaman kapas.

Serat kapas banyak digunakan untuk insulasi pada sistem pendinginan udara dan refrigerasi saat pasca perang dunia II. Selain memiliki nilai insulasi yang baik, serat kapas juga sangat ringan. Sehingga cocok sebagai insulator yang ideal pada objek seperti mobil dan truk berpendingin serta dapat digunakan pada pesawat dimana faktor berat sangat berpengaruh.



Gambar 3. Penampang Serat Kapas Secara Membujur dan Melintang.

Tabel 1.  
Data Perbandingan Persentase Komposisi Ketebalan Dinding Insulasi

Komponen	50%
Serat Kapas	0,696 m
Polyurethane Foam	0,0375 m

E. Polyurethane

*Polyurethane* adalah *polymeric material* yang mengandung uretan grup (-NH-CO-O-) yang merupakan hasil reaksi dari polyol dengan isocyanate. *Polyurethane* ditemukan tahun 1937 oleh Prof. Otto Bayer sebagai pembentuk serat yang didesain untuk menandingi serat nilon. Tetapi penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa *polyurethane* juga dapat digunakan untuk membuat busa (foam), bahan elastomer (karet/plastik), lem, pelapis (*coating*), dan lain-lain (Sheth dan Lee Chen, 1991). Komponen utama yang penting dari suatu *polyurethane* adalah *isocyanate* yang molekulnya berisi dua *isocyanate* (*diisocyanates*).

Aplikasi *polyurethane* paling banyak (sekitar 70%) adalah sebagai bahan busa, diikuti dengan elastomer, baru kemudian sebagai lem dan pelapis. Jika *polyurethane* yang digunakan bersifat lunak, maka yang dihasilkan adalah busa lunak seperti pada kasur busa, alas kursi dan jok mobil. Ada juga jenis busa kaku (*rigid foam*), seperti pada insulasi dinding, insulasi lemari es, atau insulasi kedap suara.

Formula dari bahan busa tersebut dapat dimodifikasi ulang dengan menggunakan beberapa bahan adiktif dalam menghasilkan sifat insulasi yang dibutuhkan [10]. Penentuan perbandingan mengembang (ekspansi) berat campuran *polyurethane* terhadap volume dengan membentuk busa padat dengan mencampur larutan *polyol* dan *isocyanate* (1:1) seperti yang telah dilakukan oleh Nasution pada tahun 2014.

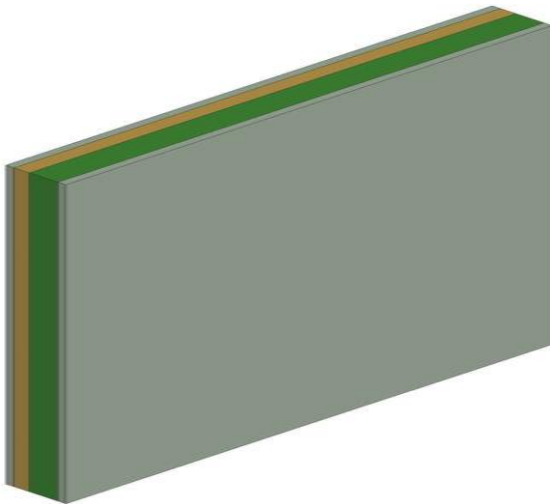
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Konduktivitas Termal Spesimen

Dilakukan pengujian konduktivitas termal pada spesimen yang dibuat dengan massa jenis 0,174485. Pada 9 kali percobaan selama pengujian, didapatkan hasil akhir konduktivitas termal sebesar 0,55486 W/mK.

B. Perhitungan Tebal Dinding Komposit Campuran

Tebal dinding komposit panel prototipe reefer container dapat diperoleh dengan membandingkan nilai Q (laju perpindahan kalor) yang dimiliki dinding prototipe reefer



Gambar 4. Desain Panel Insulasi Berbahan Campuran.

container yang memiliki dimensi panjang, lebar, dan tinggi yang sama. Nilai laju perpindahan kalor dapat dihitung dengan Persamaan 1,

$$P = Q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_0 A} + \frac{L_1}{K_1 A} + \frac{L_2}{K_2 A} + \dots + \frac{1}{h_1 A}}$$

$$Q = \frac{\Delta T \cdot A}{\frac{1}{h_0} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \dots + \frac{1}{h_1}} \quad (1)$$

dimana:

- Q = Laju Perpindahan Panas (W)
- A = Luas Permukaan Panel (m<sup>2</sup>)
- K = Konduktivitas Termal (W/mK)
- h<sub>0</sub> = Koefisien Konveksi Udara (W/m<sup>2</sup>K)
- h<sub>1</sub> = Koefisien Konveksi Udara Dalam (W/m<sup>2</sup>K)
- L = Ketebalan Dinding (m)
- ΔT = Perbedaan Temperatur

Tabel 2 memuat data hasil perhitungan persentase tebal dinding yang telah dilakukan. Maka dari rancangan dan perhitungan yang telah dilakukan untuk mendapatkan ketebalan dinding insulasi berbahan campuran, struktur komponen yang digunakan adalah plat alumunium dengan ketebalan 0,3mm, lembar kapas dengan ketebalan 6,96cm dan *polyurethane foam* dengan ketebalan 3,75cm. Gambar 4 menunjukkan desain susunan lapisan panel dinding prototipe *reefer container*.

#### C. Pembuatan Lembaran Kapas

Setelah ketebalan dinding insulasi yang dibutuhkan telah diperoleh, hal yang selanjutnya dilakukan adalah membuat lembaran serat kapas yang akan menjadi bahan insulasi dinding komposit. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan lembaran serat kapas:

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Lapsi alat *press* dengan plastik dan *lotion*.
3. Campuran 10% resin dan 30% pengencer SM dari berat serat kapas yang digunakan.
4. Tuang sedikit campuran resin ke dalam alat *press*, lalu masukkan serat kapasnya. Lakukan cara ini berulang kali.
5. Tutup alat *press* dengan plat, lalu putar ulir alat *press* yang dialasi balok kayu agar plat menekan ke kapas yang telah diberi resin.
6. Tunggu resin sampai setengah mengering.



Gambar 5. Lembar Serat Kapas.

7. Kemudian keluarkan lembaran kapas dari alat *press* kemudian jemur hingga benar-benar kering. Bentuk lembaran kapas ditunjukkan oleh Gambar 5.

#### D. Pembuatan Panel Berbahan Campuran

Setelah membuat lembaran serat kapas, hal yang dilakukan selanjutnya adalah pembuatan panel dinding campuran kapas dan *polyurethane foam* seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Panel yang dibuat berukuran 120 cm x 120 cm x 10,7 cm. Ketebalan 10,7 cm diperoleh dari penggabungan tebal serat kapas sebesar 6,969 cm dan tebal *polyurethane foam* sebesar 3,75 cm. Berikut ini adalah langkah-langkah pencampuran serat kapas dan *polyurethane foam*:

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Lapsi cetakan dengan plastik
3. Alasi cetakan dengan plat alumunium
4. Letakan lembaran serat kapas kedalam cetakan
5. Campurkan cairan *polyurethane A* dan B. Aduk hingga merata.
6. Masukkan cairan *polyurethane* kedalam cetakan secara merata dan tunggu hingga *polyurethane* berhenti bereaksi
7. Rapiakan bagian *polyurethane* sesuai dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan.

#### E. Pengujian Termal Prototipe Reefer Container ½ Ton

Pengujian prototipe *reefer container* dilakukan untuk mengetahui laju perpindahan kalor yang terjadi pada dinding insulasi yang terpasang. Prototipe *reefer container* dijalan hingga mesin refrigrasi mati, ketika sistem refrigrasi tidak bekerja, pengujian dimulai dengan mencatat suhu terendah yang didapatkan prototipe *reefer container* dan berapa lama suhu naik mencapai suhu *ambient*. Proses pengujian dilakukan pada dua kondisi dengan dua variasi, yaitu kondisi prototipe *reefer container* masih dengan insulasi *polyurethane* murni dan kondisi prototipe *reefer container* yang telah dimodifikasi dinding insulasinya. Masing-masing kondisi melakukan dua pengujian dengan beban dan tanpa beban. Skema percobaan ditunjukkan oleh Gambar 7.

Distribusi suhu yang dari suhu lingkungan hingga suhu ruang pada prototipe *reefer container* yang telah dipasang dinding komposit berbahan campuran serat kapas dan *polyurethane* yaitu pada T1 suhu lingkungan terukur sebesar 28°C dimana ada radiasi media udara lingkungan yang



Gambar 6. Dinding Komposit Campuran.

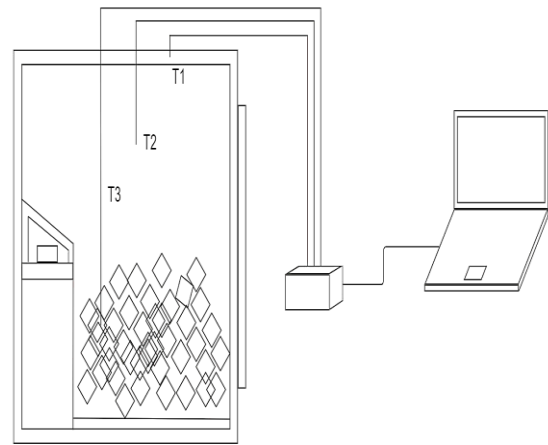
terjadi. Lalu pada suhu dinding PU bagian belakang terukur sebesar  $24^{\circ}\text{C}$  dan pada suhu dinding PU bagian depan terukur sebesar  $23^{\circ}\text{C}$ . Pada suhu dinding kapas bagian depan terukur sebesar  $-3^{\circ}\text{C}$  dan pada suhu dinding kapas bagian belakang terukur sebesar  $-7^{\circ}\text{C}$  dimana ada proses konduksi yang terjadi dengan plat aluminium dan colorbond yang terpasang. Dan suhu ruang yang terukur sebesar  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Dari percobaan I yang dilakukan yaitu variasi tanpa beban, dalam rentang 10 jam, terlihat bahwa pada dinding konvensional, terjadi kenaikan suhu ruang sebesar  $5^{\circ}\text{C}$  sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu sebesar 2 jam. Sedangkan pada dinding campuran dalam waktu 10 jam terjadi kenaikan suhu ruang sebesar  $13^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu sebesar 46 menit. Untuk kenaikan suhu dinding terjadi sebesar  $8^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu dan 1,25 jam. Sedangkan pada dinding campuran dalam waktu 10 jam terjadi kenaikan dan suhu dinding sebesar  $13^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu sebesar 54 menit.

Lalu dari percobaan II dengan beban, dalam rentang 10 jam, terlihat bahwa pada dinding konvensional, dalam waktu 10 jam terjadi kenaikan suhu ruang sebesar  $5^{\circ}\text{C}$  sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu sebesar 2 jam. Sedangkan pada dinding campuran dalam waktu 10 jam terjadi kenaikan suhu ruang sebesar  $11^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu sebesar 54 menit. Untuk kenaikan suhu dinding terjadi sebesar  $8^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu 1,25 jam. Sedangkan pada dinding campuran dalam waktu 10 jam terjadi kenaikan dan suhu dinding sebesar  $8^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk naik tiap  $^{\circ}\text{C}$  membutuhkan rata-rata waktu sebesar 1,25 jam.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian pada spesimen dan juga percobaan pada *coolbox* yang telah penulis lakukan, penulis dapat menarik beberapa kesimpulan diantaranya yaitu: (1) Berdasarkan perhitungan, desain panel insulasi campuran serat kapas dan *polyurethane* diketahui ketebalan dari masing-masing susunan dari panel dinding insulasi sebesar 6,96 cm untuk serat kapas, dan 3,75 cm untuk *polyurethane*



Gambar 7. Skema Percobaan.

foam sehingga total dari ketebalan dinding panel yaitu 10,7cm dengan dimensi panjang 120 cm dan lebar 120 cm.

Berikutnya, (2) Dari hasil 4 percobaan yang telah dilakukan pada prototipe reefer container  $\frac{1}{2}$  ton berdinding *polyurethane* murni dan berdinding campuran serat kapas dan *polyurethane* dengan variasi tanpa beban dan 20% beban produk diketahui, dalam rentang 10 jam kinerja insulasi pada dinding komposit campuran 50% serat kapas dan 50% *polyurethane* mengalami kenaikan suhu ruang sekitar 54 menit tiap derajat ketika berisi muatan, dan saat tanpa muatan mengalami kenaikan suhu ruang sekitar 46 menit tiap derajat. Pada dinding *polyurethane* murni mengalami kenaikan suhu ruang sekitar 2 jam tiap derajat ketika berisi muatan dan saat tanpa muatan dalam rentang 10 jam. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dinding insulasi komposit *polyurethane* murni memiliki kinerja lebih baik dalam mempertahankan suhu udara dingin dibanding dinding insulasi komposit campuran 50% serat kapas dan 50% *polyurethane*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ozel, "Effect of insulation location on dynamic heat-transfer characteristics of building external walls and optimization of insulation thickness," *Energy Build.*, vol. 72, pp. 288–295, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.015.
- [2] A. Ahuja and M. Ramachandran, "Review on phase change material as thermal energy storage for cooling," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 192–196, 2016.
- [3] W. B. Fitzgerald, O. J. A. Howitt, I. J. Smith, and A. Hume, "Energy use of integral refrigerated containers in maritime transportation," *Energy Policy*, vol. 39, no. 4, pp. 1885–1896, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2010.12.015.
- [4] L. Aditya *et al.*, "A review on insulation materials for energy conservation in buildings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, pp. 1352–1365, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.034.
- [5] N. A. KÜREKÇİ, "Optimum insulation thickness for cold storage walls: Case study for Turkey," *J. Therm. Eng.*, vol. 6, no. 5, pp. 873–887, Oct. 2020, doi: 10.18186/thermal.802124.
- [6] M. A. Budiyo and T. Shinoda, "The effect of solar radiation on the energy consumption of refrigerated container," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, pp. 687–695, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.09.005.
- [7] A. H. Abadi, A. Efendi, and M. R. Taufik, "Optimalisasi beban pendingin reefer container terhadap komoditi buah jeruk," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 117–128, 2020.
- [8] R. Accorsi, R. Manzini, and E. Ferrari, "A comparison of shipping containers from technical, economic and environmental perspectives," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 26, pp. 52–59, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.trd.2013.10.009.
- [9] M. I. Maulana, "Optimalisasi Pencegahan Kerusakan Muatan Reefer Di Kapal Container MV. Sungai Mas," Program Studi Nautika,

Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Semarang, 2019.

- [10] P. Nasution, S. P. Fitri, and Semin, "Karakteristik fisik komposit sabut kelapa sebagai insulator palka ikan," *J. Berk. Perikan. Terubuk*, vol. 42, no. 2, pp. 82–92, 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.31258/terubuk.42.2.%25p>.

- [11] K. N. Keya, N. A. Kona, F. A. Koly, K. M. Maraz, M. N. Islam, and R. A. Khan, "Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages, and applications," *Mater. Eng. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 69–87, 2019, doi: 10.25082/MER.2019.02.006.