

Analisa CFD Kinerja *Eco Reefer Container 20 Feet* dengan Aplikasi Dinding Panel Komposit Berbahan Serat Kapas

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

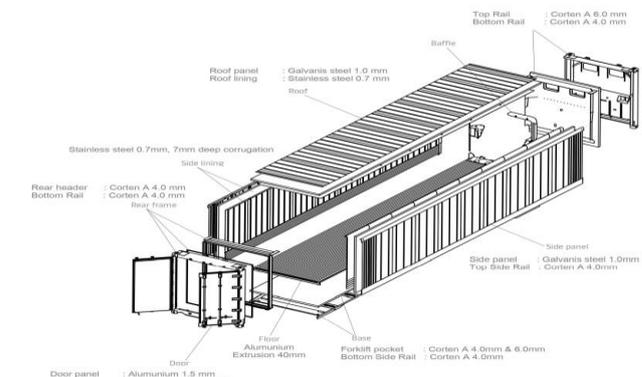
Abstrak—Dalam pengoperasian *Reefer Container* kebutuhan daya yang besar didorong dengan peningkatan penggunaan *Reefer Container* kedepannya dan juga permasalahan penurunan kualitas komoditas akibat perubahan suhu membuat sektor industri dan peneliti mencari cara untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Salah satunya dengan meningkatkan desain dari dinding insulasi *Reefer Container* tersebut. Dinding insulasi berfungsi untuk menjaga suhu di dalam *Reefer Container* agar muatan tidak terpengaruh dari suhu luar. Salah satu material yang bisa digunakan sebagai bahan insulasi adalah serat kapas, karena serat kapas memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa penggunaan serat kapas sebagai dinding komposit pada *Reefer Container 20 Feet* menggunakan bantuan komputasi dengan simulasi FEM untuk menganalisa distribusi suhu pada dindingnya dan CFD untuk menganalisa suhu didalam ruangnya. Simulasi FEM dilakukan sebanyak 4 variasi material dan komposisi dinding insulasi yaitu 100% *Polyurethane* dengan rata rata suhunya bernilai $-0,876^{\circ}\text{C}$, 25% Serat Kapas : 75% *Polyurethane* dengan rata rata suhunya bernilai $-4,354^{\circ}\text{C}$, 50% Serat Kapas : 50% *Polyurethane* dengan rata rata suhunya bernilai $-4,8576^{\circ}\text{C}$, 75% Serat Kapas : 25% *Polyurethane* dengan rata rata suhunya bernilai $-3,5278^{\circ}\text{C}$. Simulasi CFD untuk menganalisa distribusi suhu didalam ruang *Reefer Container 20 Feet* dilakukan dengan 2 variasi dinding dengan 2 kondisi yaitu, 100% *Polyurethane* tanpa muatan dengan rata rata suhunya bernilai $-29,798^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimumnya bernilai $-29,886^{\circ}\text{C}$, 50% Serat Kapas : 50% *Polyurethane* $-29,804^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimumnya bernilai $-29,902^{\circ}\text{C}$, 100% *Polyurethane* dengan muatan rata rata suhunya bernilai $-28,731^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimumnya bernilai $-29,19^{\circ}\text{C}$, 50% Serat Kapas : 50% *Polyurethane* tanpa muatan dengan rata rata suhunya bernilai $-29,034^{\circ}\text{C}$ dan suhu minimumnya bernilai $-29,351^{\circ}\text{C}$.

Kata Kunci—CFD, FEM, Serat Kapas, *Reefer Container*.

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN *Reefer Container* dalam kegiatan logistik rantai dingin tidaklah mudah ada permasalahan yang biasanya dihadapi. Salah satu permasalahan dalam Logistik rantai dingin adalah penurunan kualitas komoditas. Penyebab permasalahan penurunan kualitas komoditas adalah terjadi perubahan suhu didalam *Reefer Container* yang utamanya terjadi akibat kegagalan sistem tenaga [1]. Selain itu permasalahan perubahan suhu dapat terjadi karena pelaksanaan kegiatan Logistik rantai dingin merupakan kegiatan intermoda. Dimana *Reefer Container* akan berpindah pindah transportasi pada proses perpindahan moda ini plug *Reefer Container* akan di cabut sehingga apabila tidak dikelola dengan baik akan menyebabkan perubahan suhu pada *Reefer Container*.

Selain permasalahan penurunan kualitas komoditas permasalahan lain dalam penggunaan *Reefer Container*



Gambar 1. 3D Model *Reefer Container 20 Feet* PT INKA.

Tabel 1.
 Data Nilai Konduktivitas Termal Material Dinding *Reefer Container 20 Feet* Untuk Simulasi FEM

Material	Konduktivitas Termal (W/m K)
Galvanis Steel	60
Stainless Steel	16,1
Polyurethane	0.026
Serat Kapas	0.0464

adalah konsumsi energi yang tinggi dari *Reefer Container* itu sendiri. Biasanya *Reefer Container* membutuhkan daya sekitar 2,8 kW [2]. *Reefer Container* sendiri memakan konsumsi sampai 60% dari total konsumsi di kapal [3]. Kebutuhan daya untuk menjaga *Reefer Container* tetap pada suhu yang diinginkan juga semakin besar pada saat *Reefer Container* berpindah-pindah alat transportasi baik melalui kapal, truck, dan kereta. Kebutuhan daya yang lebih besar juga dibutuhkan pada saat proses loading unloading *Reefer Container* [4].

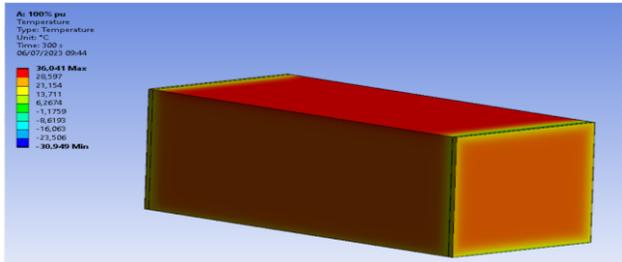
Kebutuhan daya yang besar didorong dengan peningkatan penggunaan *Reefer Container* kedepannya dan juga permasalahan penurunan kualitas komoditas akibat perubahan suhu membuat beberapa sektor industri dan juga peneliti mencari cara untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Salah satunya dengan meningkatkan desain dari dinding insulasi *Reefer Container* tersebut. Dinding insulasi pada *Reefer Container* merupakan lapisan dengan bahan material yang berfungsi untuk menjaga suhu di dalam *Reefer Container* agar muatan tidak terpengaruh dari suhu di luar kapal. Sekarang ini struktur dinding insulasi *Reefer Container* umumnya terdiri dari *Polyurethane* (PU) [5]. Selama bertahun tahun banyak penelitian terkait material insulasi yang baru salah satunya adalah menggunakan serat kapas.

Kapas diharapkan dapat digunakan sebagai material komposit untuk dinding insulasi *Reefer Container* karena kapas memiliki nilai konduktivitas yang rendah yaitu sekitar 0.026 W/mK [6]. Tetapi penggunaan serat kapas

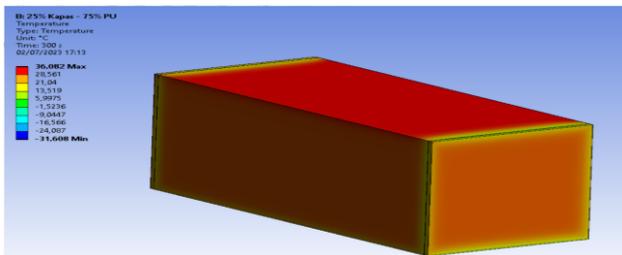
Tabel 2.

Data Thermal Properties dan Thermophysical Untuk Simulasi CFD

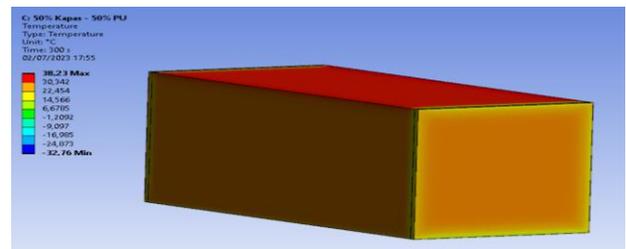
Material	Density (kg/m ³)	Specific Heat Capacity (J/kg K)	Konduktivitas Thermal (W/mK)
Stainless Steel	7750	480	60
Galvanis Steel	7850	510	16,1
Polyurethane	24	1917	0,026
Serat Kapas	509,09	1300	0,0464
Ikan	901	2177	0,57
Udara	1,225	1006,43	0,0242



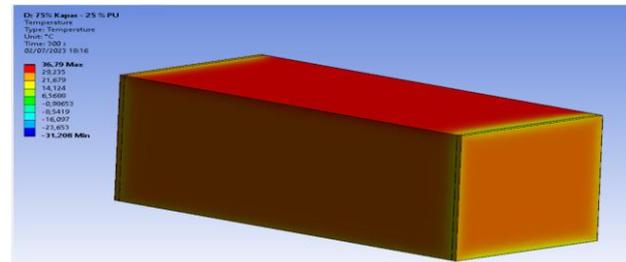
Gambar 2. Hasil Simulasi FEM Reefer Container 20 Feet 100% Polyurethane.



Gambar 3. Hasil Simulasi FEM Reefer Container 20 Feet 25% Serat Kapas : 75% Polyurethane.



Gambar 4. Hasil Simulasi FEM Reefer Container 20 Feet 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.



Gambar 5. Hasil Simulasi FEM Reefer Container 20 Feet 75% Serat Kapas : 25% Polyurethane.



Gambar 6. Garis pengambilan data suhu dinding simulasi FEM.

sebagai material komposit perlu dianalisa terlebih dahulu maka penulis membuat penelitian ini yang berfokus untuk menganalisa penggunaan serat kapas sebagai dinding komposit pada Reefer Container 20 feet menggunakan bantuan komputasi dengan simulasi CFD dan FEM. Simulasi CFD digunakan untuk mengetahui kinerja distribusi suhu udara pendinginan di dalam Reefer Container. Sementara Simulasi FEM digunakan untuk menganalisa kinerja distribusi suhu pada sisi dinding panel komposit Reefer Container. Nantinya diharapkan dari hasil penelitian ini dapat menjadi pertimbangan dan rekomendasi dalam dunia industri untuk penggunaan serat kapas sebagai aplikasi dinding panel komposit pada Reefer Container.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Reefer Container

Reefer Container adalah jenis container yang digunakan untuk mengangkut muatan yang sensitif terhadap perubahan suhu dengan cara menjaga suhu muatan di dalam container yang dapat diatur dengan temperatur mulai dari -40°C sampai +30°C. Reefer Container sendiri memiliki komponen elektronik dan sistem pendingin yang bergantung pada daya listrik dengan rata-rata konsumsi 3 sampai 4 kWh.

Reefer Container merupakan container yang digunakan dalam transportasi angkutan intermoda atau sistem angkutan yang menggabungkan beberapa moda transportasi dalam proses transportasinya. Sementara Reefer Container memiliki unit pendingin yang bergantung sumber daya bergantung pada daya eksternal sesuai dengan alat transportasi yang sedang mengangkut Reefer Container

tersebut.

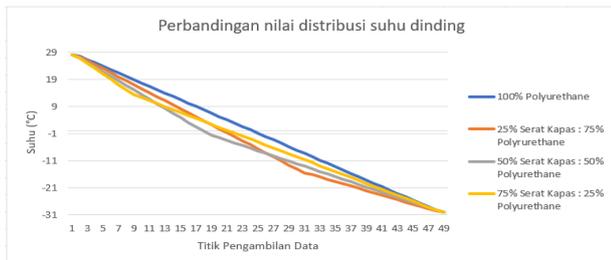
Reefer Container memiliki 3 jenis cargo diantaranya adalah Frozen Cargo, Chilled Cargo, dan Temperature Regulated Cargo. Jenis cargo ini dikategorikan berdasarkan kebutuhan suhu muatan yang dimuat Reefer Container [7].

B. Serat Kapas

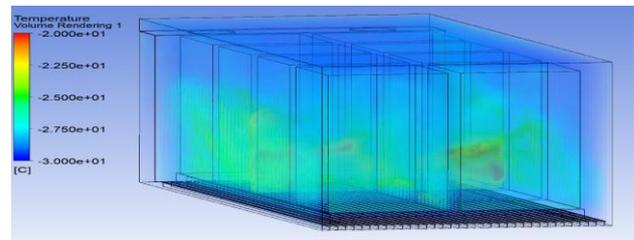
Kapas merupakan serat halus yang menyelubungi biji dari beberapa jenis Gossypium tanamana kapas yang tumbuh di daerah tropika dan subtropika. Serat kapas sendiri memiliki struktur fisika yaitu warnanya putih kemudian panjangnya 100 kali dari tebalnya dan penampang melintangnya berbentuk melengkung akan tetapi tergantung tingkat kedewasaannya. Struktur kimia dari serat kapas sendiri tersusun dari selulosa, polimer linier dari polimerisasi kondensasi molekul glukosa. Serat kapas tersusun dari 94% selulosa ; 1,3 % protein ; 0,6% lilin ; 1,2% abu ; 1,2% pektat ; dan zat lainnya 1,7%.

C. Finite Element Method

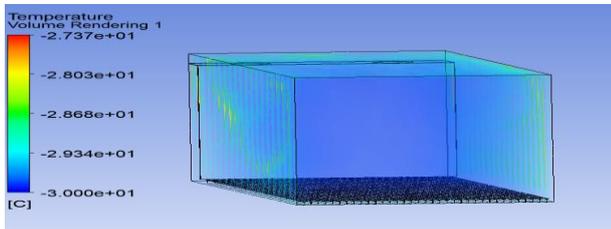
Finite Element Method adalah metode numerik yang digunakan untuk solusi pendekatan dari masalah batas dan nilai awal yang dicirikan oleh persamaan diferensial parsial. Finite Element Method merupakan prosedur sistematis untuk mendekati fungsi kontinu sebagai model diskrit. diskritisasi ini melibatkan jumlah titik dan subdomain yang terbatas dalam domain masalah. Nilai-nilai dari fungsi yang diberikan diadakan pada titik-titik, yang disebut node. Subdomain yang tidak tumpang tindih, yang disebut elemen hingga, terhubung bersama pada node pada batasnya dan memiliki aproksimasi fungsi sepotong-sepotong dan lokal,



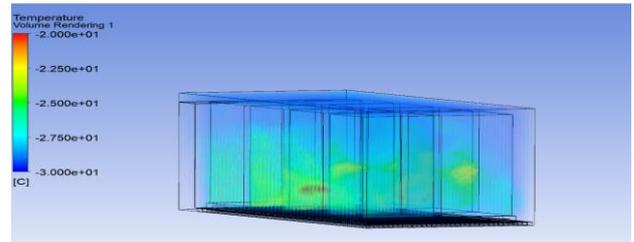
Gambar 7. Grafik Perbandingan Distribusi suhu di dinding.



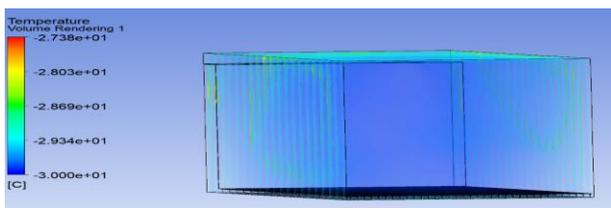
Gambar 10. Hasil Simulasi CFD Reefer 100% Polyurethane.



Gambar 8. Hasil Simulasi CFD Reefer 100% Polyurethane.



Gambar 11. Hasil Simulasi CFD Reefer 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.



Gambar 9. Hasil Simulasi CFD Reefer 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.



Gambar 12. Garis pengambilan data distribusi suhu.

yang didefinisikan secara unik dalam hal nilai yang dipegang pada nodenya. Kumpulan elemen dan node yang didiskritkan disebut mesh dan proses konstruksinya disebut meshing.

D. Computational Fluid Dynamics

Computational fluid dynamics (CFD) merupakan sebuah cabang dinamika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma dalam menganalisa permasalahan terkait aliran fluida. CFD biasanya digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dinamika fluida untuk perhitungan yang rumit yang memerlukan bantuan komputasi. Computational fluid dynamics menggunakan control dimensi luas dan volume dalam perhitungannya. Dan memanfaatkan bantuan komputasi dalam perhitungan pada setiap elemen pembagiannya.

Prinsip dari computational fluid dynamics adalah ruang yang berisi fluida dilakukan perhitungan dengan membagi-bagi menjadi beberapa bagian, yang dinamakan dengan sel. Proses pembuatan sel dalam computational fluid dynamics disebut dengan meshing. Saat perhitungan pada setiap titik kontrol, sel-sel tersebut akan menjadi kontrolnya. Lalu setiap titik kontrol tersebut akan dihitung dengan Batasan boundary condition dan domain yang telah ditentukan [8]. Proses dari Computational Fluid Dynamics sendiri terbagi menjadi tiga tahapan yaitu : preprocessor, prosesor, dan post prosesor.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini terdapat tiga fokus masalah yaitu mengenai perancangan desain model Eco Reefer Container 20 feet, perancangan struktur dinding Eco Reefer Container 20 feet dengan lapisan insulasi berbahan komposit panel

serat kapas dan polyurethane, analisa distribusi termal pada dinding komposit Eco Reefer Container 20 feet, dan analisa distribusi suhu udara pendingin pada Eco Reefer Container 20 feet.

B. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi pendukung dan dasar-dasar teori yang akan dibahas yang berkaitan dengan topik penelitian yang akan dijalankan. Pada penelitian ini dilakukan studi literatur tentang Reefer Container, dinding Insulasi, material Komposit, Computational Fluid Dynamics (CFD), dan Finite Element Method (FEM). Studi literatur yang dilakukan dengan mencari dan membaca dari beberapa sumber seperti, jurnal, buku, penelitian terdahulu, dan tugas akhir terdahulu.

C. Studi Empiris

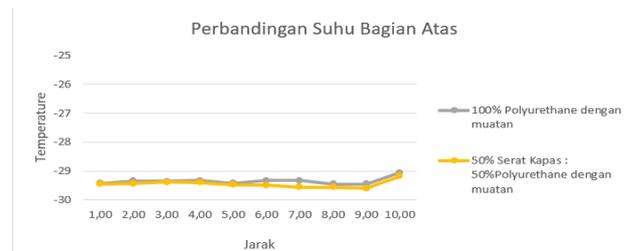
Setelah mengidentifikasi masalah dan studi literatur, Langkah berikutnya adalah melakukan studi empiris pada tahap ini dilakukan pengumpulan data untuk menunjang penelitian dalam menganalisa distribusi suhu pada dinding panel komposit Reefer Container 20 Feet dan distribusi suhu didalam Reefer Container 20 Feet dengan menggunakan FEM dan CFD. Data data yang dikumpulkan adalah data ukuran Reefer Container 20 Feet, data material penyusun dinding insulasi Reefer Container 20 Feet, Thermal properties dari material insulasi, Sistem Distribusi Suhu Reefer Container 20 Feet. Spesifikasi teknis dari Reefer Container 20 Feet yang akan dijadikan objek pada penelitian ini dimuat dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

D. Pemodelan 3D Reefer Container 20 Feet

Perancangan desain dibuat dalam bentuk 3D yang dimana perancangan modelnya berupa penggambaran Eco Reefer Container 20 feet dengan dinding insulasi konvensional



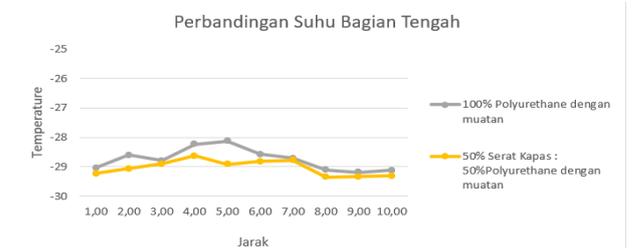
Gambar 13. Grafik perbandingan suhu *Reefer Container 20 Feet* tanpa beban bagian atas.



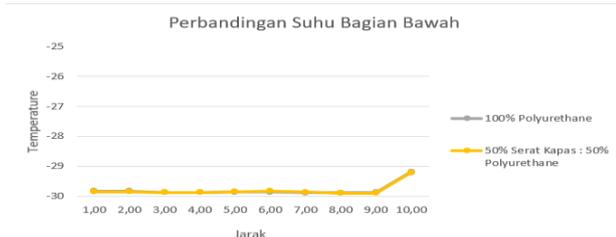
Gambar 16. Grafik perbandingan suhu *Reefer Container 20 Feet* dengan muatan bagian atas.



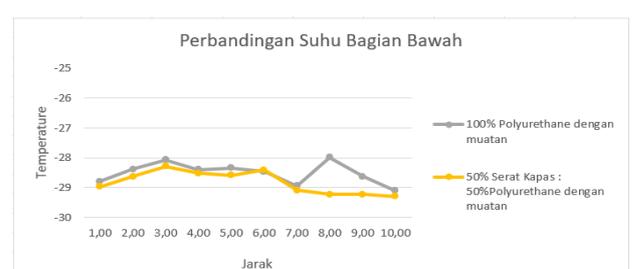
Gambar 14. Grafik perbandingan suhu *Reefer Container 20 Feet* tanpa beban bagian tengah.



Gambar 17. Grafik perbandingan suhu *Reefer Container 20 Feet* dengan muatan bagian tengah.



Gambar 15. Grafik perbandingan suhu *Reefer Container 20 Feet* tanpa beban bagian bawah.



Gambar 18. Grafik perbandingan suhu *Reefer Container 20 Feet* dengan muatan bagian bawah.

hanya polyetherthane dan Eco Reefer Container 20 feet dengan lapisan insulasinya dari bahan panel komposit campuran serat kapas dan polyurethane. Bentuk 3D ini divisualisasikan oleh Gambar 1.

E. Perancangan Struktur Dinding Insulasi Reefer Container 20 Feet

Setelah merancang model desain maka proses untuk perancangan struktur dinding dapat dilakukan. Perancangan dari struktur dinding Eco Reefer Container 20 feet akan terkait dengan variasi komposisi bahan pada lapisan insulasi di dinding Eco Reefer Container 20 feet. Variasi 1 100% *Polyurethane*, Variasi 2 25% Serat Kapas : 75% *Polyurethane*, Variasi 3 50% Serat Kapas : 50% *Polyurethane*, Variasi 4 75% Serat Kapas : 25% *Polyurethane*.

F. Simulasi FEM

Software yang akan digunakan untuk melakukan simulasi FEM adalah *Ansys Workbench 2021 R2* dengan jenis analisa simulasi yaitu *Steady State Thermal*. Dimana simulasi ini dilakukan untuk mengetahui analisa distribusi suhu pada dinding *Eco Reefer Container 20 feet* dengan lapisan dinding insulasi panel insulasi komposit campuran *polyurethane* dan serat kapas.

G. Validasi Hasil FEM

Apabila telah memperoleh data dari hasil simulasi yang sesuai dengan keinginan, maka dapat dibandingkan dengan hasil data dari perhitungan manual untuk mencari tahu perbedaan antara kedua metode mana yang lebih akurat. Pada bagian ini juga nantinya akan dilakukan analisa hasil dari simulasi dinding *Eco Reefer Container 20 feet* dengan

tujuan untuk mendapatkan desain dinding terbaik dari segi distribusi termal. Dimana dari desain terbaik yang dipilih nanti akan dilanjutkan dengan pemodelan ruang *Eco Reefer Container 20 feet*.

H. Simulasi CFD

Setelah melakukan perancangan struktur dinding insulasi Eco Reefer Container 20 feet dengan variasi material komposit, maka dilakukan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan menggunakan software *Ansys Workbench 2021 R2*. Jenis simulasi yang digunakan yaitu Fluid Flow (Fluent).

I. Validasi Hasil Simulasi CFD

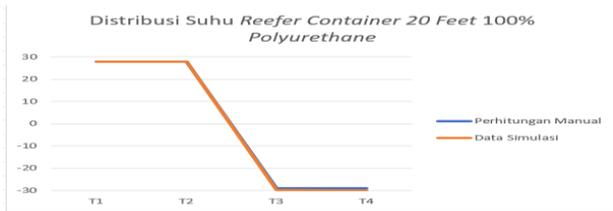
Apabila simulasi sudah dilakukan maka langkah selanjutnya adalah melakukan validasi dengan tujuan untuk memverifikasi apakah terdapat error ketika sedang menjalankan simulasi. Validasi yang dilakukan berupa perbandingan data antara hasil simulasi menggunakan software dengan hasil perhitungan manual.

J. Analisa Data dan Pembahasan

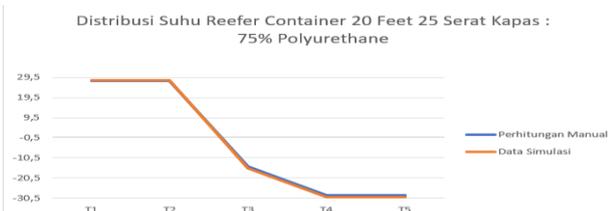
Hasil simulasi yang telah dilakukan digunakan untuk melihat proses simulasi pendinginan di dalam ruang *Eco Reefer Container 20 feet* serta melihat distribusi suhu pada pendinginan ruang *Eco Reefer Container 20 feet* dengan lapisan insulasi pada dindingnya berbahan panel serat kapas dan *polyurethane*.

K. Kesimpulan

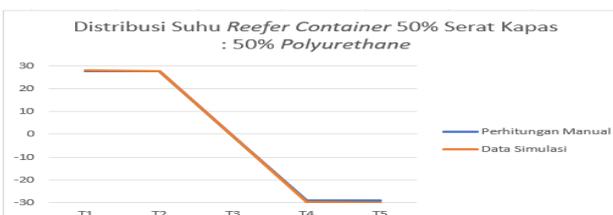
Setelah melalui proses tersebut, penulis membuat kesimpulan tentang penelitian ini lalu memberikan saran



Gambar 19. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 100% Polyurethane.



Gambar 20. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 25% Serat Kapas : 75% Polyurethane.



Gambar 21. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.

atau rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yang terkait dengan topik penelitian ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Distribusi Suhu Dinding Reefer Container 20 Feet Menggunakan Metode FEM

Terdapat beberapa tahapan di dalam simulasi Steady State Thermal yang harus dipenuhi untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Tahapan tersebut diantaranya adalah Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution, dan Results. Hasil simulasi Ansys Steady State Thermal untuk setiap variasi ditunjukkan oleh Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Setelah mendapatkan hasil simulasi pada semua variasi selanjutnya bisa dilakukan pengambilan data pada bagian dinding kanan pada dinding terdalam sampai terluar seperti pada Gambar 6. Melalui pengambilan data pada bagian dinding, didapatkan hasil grafik perbandingan tiap variasi seperti pada Gambar 7.

Setelah mendapatkan seluruh data tiap variasi selanjutnya melakukan pemilihan desain dinding terbaik untuk disimulasikan pada CFD. Pemilihan tersebut mengacu pada nilai suhu rata rata terendah. Didapatkan dari hasil simulasi variasi 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane menghasilkan nilai rata rata paling rendah daripada yang lainnya, nantinya variasi ini yang akan dianalisa dan dibandingkan hasilnya dengan Reefer Container 20 Feet konvensional dengan material insulasi 100% PU dengan menggunakan metode CFD.

B. Analisa Distribusi Suhu Termal pada Ruang Reefer Container 20 Feet Menggunakan Metode CFD

Analisis dilakukan menggunakan Software Ansys dengan jenis simulasi yang digunakan adalah Fluid Flow (Fluent).

Tabel 3.
Perbandingan Hasil simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 100% Polyurethane

Titik Suhu (°C)	Simulasi	Perhitungan Manual
T1	27,99	27,76
T2	27,989	25,7597
T3	-29,866	-29,072
T4	-30	-29,072

Tabel 4.
Perbandingan Hasil simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 25% Serat Kapas : 75% Polyurethane

Titik Suhu (°C)	Simulasi	Perhitungan Manual
T1	27,987	27,757
T2	27,986	27,756
T3	-15,769	-14,87
T4	-30,033	-29,072
T5	-30,033	-29,073

Tabel 5.
Perbandingan Hasil simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane

Titik Suhu (°C)	Simulasi	Perhitungan Manual
T1	27,992	27,756
T2	27,855	27,756
T3	-0,897	-0,658
T4	-29,827	-29,072
T5	-30	-29,072

Fluent merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi terhadap fluida dengan metode numerik. Dimana nantinya akan dilakukan simulasi sebanyak 2 Kondisi , yaitu Reefer Container 20 Feet dalam keadaan kosong dan Reefer Container 20 Feet yang didalamnya terdapat muatan ikan. 2 Jenis Kondisi tersebut diberlakukan untuk 2 jenis variasi dinding insulasi yaitu 100% Polyurethane dan 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi dari reefer container tanpa beban. Gambar 10 dan Gambar 11 merupakan hasil simulasi Reefer Container 20 Feet dengan muatan. Pada penelitian ini pengambilan data distribusi suhu udara dalam Reefer Container 20 Feet 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane dengan muatan dilakukan pada 10 titik pada 3 garis horizontal seperti pada Gambar 12.

Setelah data didapatkan dari hasil simulasi CFD selanjutnya nilai suhu dari Reefer Container 20 Feet dengan dinding 100% Polyurethane dibandingkan dengan dinding 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane dan didapatkan grafik perbandingan untuk 2 kondisi Reefer Container 20 Feet. Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15 adalah grafik perbandingan suhu dari reefer container tanpa beban. Grafik perbandingan suhu dari reefer container dengan muatan ditunjukkan oleh Gambar 16, Gambar 17, dan Gambar 18.

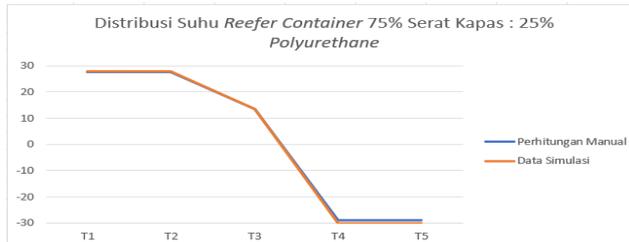
C. Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual

Pada penelitian ini validasi hasil simulasi menggunakan perhitungan manual dengan nilai antara hasil simulasi dan perhitungan manual. Tabel 3 serta Gambar 19 memuat serta menampilkan nilai dan grafik perbandingan suhu dinding pada Reefer Container dengan material 100% Polyurethane.

Tabel 4 serta Gambar 20 menunjukkan nilai dan grafik perbandingan suhu dinding pada Reefer Container dengan material 25% Serat Kapas : 75% Polyurethane. Nilai dan grafik perbandingan suhu dinding pada Reefer Container dengan material 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane dimuat dalam Tabel 5 serta ditunjukkan Gambar 21.

Tabel 6.
Perbandingan Hasil simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 75% Serat Kapas : 25% Polyurethane

Titik Suhu (°C)	Simulasi	Perhitungan Manual
T1	27,989	27,756
T2	27,989	27,756
T3	13,513	13,55
T4	-30	-29,073
T5	-30	-29,073



Gambar 22. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu Dinding 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.

Berikutnya nilai dan grafik perbandingan suhu dinding pada Reefer Container dengan material 75% Serat Kapas : 25% Polyurethane ditunjukkan Tabel 6 serta Gambar 22. Sementara untuk perbandingan nilai suhu hasil simulasi dan perhitungan di dalam ruang Reefer Container dengan 100% Polyurethane menggunakan metode CFD adalah dimuat dalam Tabel 7. Kemudian nilai perbandingan suhu di dalam ruang Reefer Container dengan 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane ditampilkan dalam Tabel 8.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Simulasi FEM digunakan untuk menghitung nilai distribusi suhu pada dinding Reefer Container 20 Feet. Simulasi dilakukan sebanyak 4 variasi dengan material dan komposisi yang berbeda. Dimana nilai suhu rata rata setiap variasi yaitu, 100% Polyurethane bernilai -0,876°C, 25% Serat Kapas : 75% Polyurethane bernilai -4,354°C, 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane bernilai -4,8576°C, 75% Serat Kapas : 25% Polyurethane bernilai -3,5278°C. Dari hasil simulasi FEM dapat diketahui dinding yang menggunakan material komposit serat kapas memiliki nilai rata rata suhu yang lebih rendah dari material dinding hanya 100% Polyurethane. Untuk Nilai rata rata suhu paling rendah didapatkan oleh material 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane.

Simulasi CFD digunakan untuk menghitung distribusi suhu didalam ruang Reefer Container 20 Feet. Ruang dalam Reefer Container 20 Feet divariasikan menjadi 2 kondisi yaitu tanpa muatan dan dengan muatan dengan 2 variasi material. Dimana nilai suhunya sebagai berikut. 100% Polyurethane tanpa muatan : Rata rata suhu ruangan -

Tabel 7.
Perbandingan Hasil simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu di dalam ruang Reefer Container 100% Polyurethane

Simulasi	Perhitungan Manual
-29,797	-30

Tabel 8.
Perbandingan Hasil simulasi dan Perhitungan Manual pada Suhu di dalam ruang Reefer Container 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane

Simulasi	Perhitungan Manual
-29,8	-29,99

29,798°C dengan suhu minimum -29,886°C, 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane tanpa muatan : Rata rata suhu ruangan -29,804°C dengan suhu minimum -29,902°C, 100% Polyurethane dengan muatan : Rata rata suhu ruangan -28,731°C dengan suhu minimum -29,19°C, 50% Serat Kapas : 50% Polyurethane dengan muatan: Rata rata suhu ruangan -29,034°C dengan suhu minimum -29,351°C. Dari hasil simulasi FEM dapat diketahui dinding yang menggunakan material komposit serat kapas memiliki nilai rata rata suhu yang lebih rendah dari material dinding hanya 100% Polyurethane.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Złoczowska, "Maritime containers refrigeration plant faults survey," *New Trends Prod. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 589–595, Oct. 2018, doi: 10.2478/ntpe-2018-0074.
- [2] M. A. Budiayanto, Nasruddin, and F. Zhafari, "Simulation study using building-design energy analysis to estimate energy consumption of refrigerated container." *Energy Procedia*, vol. 156, pp. 207–211, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.129.
- [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] R. Fioretti, P. Principi, and B. Copertaro, "A refrigerated container envelope with a PCM (Phase Change Material) layer: Experimental and theoretical investigation in a representative town in Central Italy," *Energy Convers. Manag.*, vol. 122, pp. 131–141, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.05.071.
- [5] A. Kan, T. Wang, W. Zhu, and D. Cao, "The characteristics of cargo temperature rising in reefer container under refrigeration-failure condition," *Int. J. Refrig.*, vol. 123, pp. 1–8, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.12.007.
- [6] A. Abbas, Y. Zhao, J. Zhou, X. Wang, and T. Lin, "Improving thermal conductivity of cotton fabrics using composite coatings containing graphene, multiwall carbon nanotube or boron nitride fine particles," *Fibers Polym.*, vol. 14, no. 10, pp. 1641–1649, Oct. 2013, doi: 10.1007/s12221-013-1641-y.
- [7] D. R. P. Putra, Erfin, and M. Yohanista, "Studi kasus penanganan muatan hasil produk perikanan menggunakan reefer container - frozen cargo di kapal MV. Reliance, Pelabuhan Lauren Say Maumere," *AQUANIPA, J. Ilmu Kelaut. dan Perikan.*, vol. 4, no. 1, 2022.
- [8] A. Suprianto, "Unjuk Kerja Kolektor Surya Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/t) Aliran Serpentine Menggunakan CFD berdasarkan Ketebalan Pelat Absorber," Universitas Lampung, Banda Lampung, 2018.