

# Simulasi CFD Aplikasi Dinding Komposit Berbahan Serat Kapas untuk *Eco Reefer Container 1/2 Ton*

Farhan Fathurakhman, Sutopo Purwono Fitri, dan Handi Rahmannuri  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: sutopopf@gmail.com

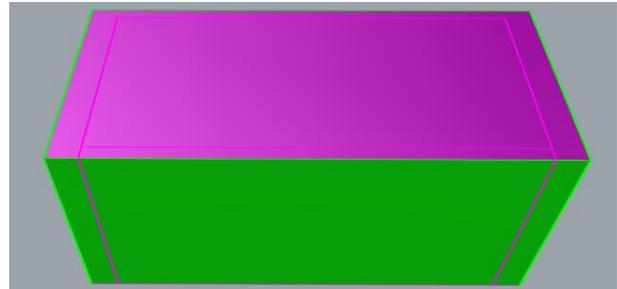
**Abstrak**—Sistem teknologi refrigerasi pada *container* biasanya bertujuan untuk mendinginkan suatu muatan agar suhu tetap terjaga dalam berbagai kondisi. Berbagai inovasi untuk wadah berpendingin terutama pada variasi dinding insulasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *Eco Reefer Container* dengan dinding insulasi komposit berbahan polyurethane dan serat kapas, serta menganalisis distribusi *temperature* pendinginan udara *Eco Reefer Container* dengan beberapa variasi insulasi komposit menggunakan *Software Ansys*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik dengan simulasi FEM (*Finite Element Method*) untuk mengetahui sebaran *temperature* pada dinding dan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk mengetahui sebaran suhu *container* baik dengan muatan maupun tanpa beban muatan. Simulasi FEM menghitung nilai distribusi suhu pada dinding prototipe *Eco Reefer Container 1/2 ton*. Simulasi dilakukan dalam 5 variasi dengan bahan dan komposisi yang berbeda. Simulasi CFD menghitung distribusi suhu di dalam ruang muat prototipe *Eco Reefer Container 1/2 ton*. Ruang muat pada *Eco Reefer Container 1/2 ton* divariasikan menjadi dua kondisi yaitu tanpa beban dan dengan beban dengan dua material insulasi. Nilai suhu rata-rata terendah berhasil dicapai pada *Polyurethane 75% : 25% Serat Kapas*. Sedangkan perbandingan data antara hasil simulasi dan hasil eksperimen memiliki nilai suhu yang sedikit berbeda karena metode eksperimen diambil pada kondisi yang berbeda. Pada validasi simulasi dengan eksperimental, dengan dinding insulasi *polyurethane 50% : 50% serat kapas* hasil yang diperoleh cukup berbeda karena sistem refrigerasi pada eksperimen yang perlu peremajaan.

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

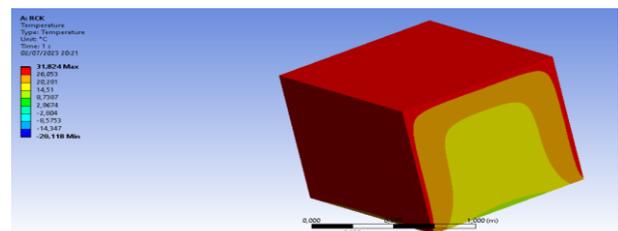
## I. PENDAHULUAN

INDONESIA memiliki perairan lautan yang luas yang menempati posisi kedua di dunia. Dengan sumber daya tersebut, Indonesia memiliki potensi kekayaan laut. Salah satu dari berbagai macam sumber daya di laut adalah ikan. Namun, kualitas ikan akan menurun jika tidak disimpan dengan baik. Pada umumnya ikan akan membusuk dalam waktu 6-7 jam setelah ditangkap tanpa ada penanganan apapun [1].

Menjaga kesegaran ikan selama pengiriman biasanya menggunakan balok es, sistem AC, dan air dingin. Untuk pengiriman ikan menggunakan peti kemas dengan sistem AC (pendingin), biasanya peti kemas berpendingin akan dirancang khusus dengan bantuan teknologi pendingin di dalam peti kemas. Sistem teknologi refrigerasi atau *reefer* biasanya bertujuan untuk mendinginkan suatu tempat hingga temperatur yang cukup dalam segala kondisi [2]. Untuk mengoperasikan kontainer berpendingin selama pengangkutan, gunakan catu daya diesel atau generator. Agar suhu muatan di dalam *reefer container* dapat terjaga dengan baik, maka kualitas barang terjamin [3].



Gambar 1. Model 3D Prototipe *Eco Reefer Container 1/2 Ton*.

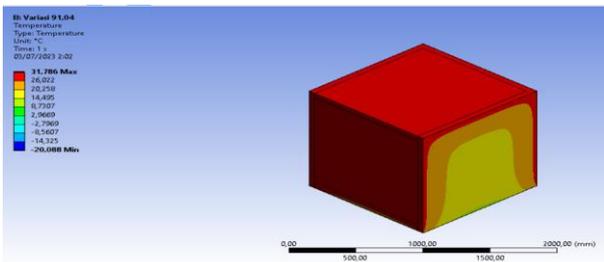


Gambar 2. Hasil Simulasi FEM Prototipe *Eco Reefer Container 1/2 Ton* 100% *Polyurethane*.

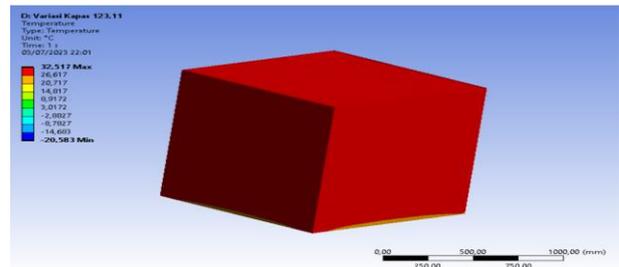
Dalam Wadah *Eco-Reefer*, beberapa material mendukung sistem pendingin udara. Walaupun tetap menggunakan sistem *refrigerator* seperti *Reefer Container* pada umumnya bahan pendukung *Eco Reefer Containers* akan bermanfaat bagi semua pihak yang terlibat dengan penghematan biaya dan pengurangan emisi yang dihasilkan. Material yang biasa digunakan seperti *polyurethane*, sabut kelapa, dan serat kapas sebagai sistem insulasi dinding kontainer. Serat kapas memiliki kemampuan dan karakteristik seperti terasa sejuk, mudah menyerap cairan, dan agak kaku. Pada serat kapas dan *polyurethane*, terdapat nilai konduktivitas masing-masing yang mempengaruhi proses kerja suatu sistem. Konduktivitas itu sendiri dapat menghantarkan panas, sehingga serat kapas dapat digunakan sebagai dinding komposit pada wadah yang berpotensi menjadi insulasi yang baik dalam menjaga suhu [4].

Berdasarkan studi-studi sebelumnya tersebut, penelitian ini akan dilakukan pada material alam dengan konduktivitas termal alami yang rendah, yaitu serat kapas dan *polyurethane*, yang akan digunakan untuk dinding insulasi prototipe *Eco Reefer Container 1/2 ton*, kemudian disimulasikan untuk menganalisis distribusi temperatur.

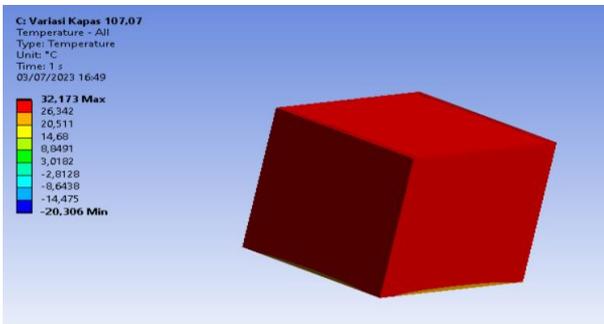
Penelitian ini menggunakan simulasi komputasi dengan CFD dan FEM. CFD akan digunakan untuk melihat kinerja dari distribusi suhu pendingin di dalam ruang muat prototipe *Eco Reefer Container 1/2 Ton* dan FEM akan digunakan untuk menganalisa distribusi suhu pada dinding komposit prototipe *Eco Reefer Container 1/2 Ton*. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan rekomendasi sebagai penggunaan serat kapas sebagai aplikasi dinding komposit.



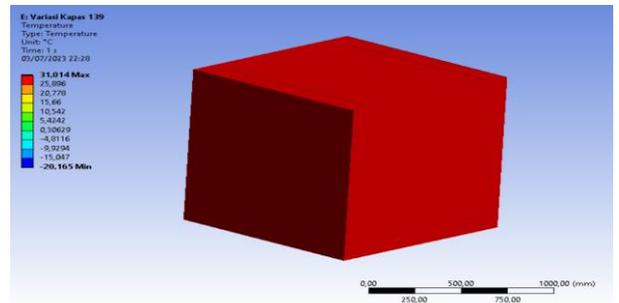
Gambar 3. Hasil Simulasi FEM Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton 75% Polyurethane : 25% Serat Kapas.



Gambar 5. Hasil Simulasi FEM Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton 25% Polyurethane : 75% Serat Kapas.



Gambar 4. Hasil Simulasi FEM Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas.

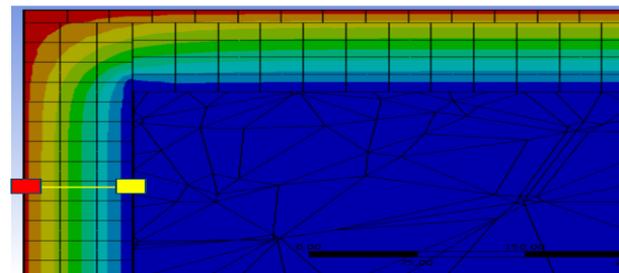


Gambar 6. Hasil Simulasi FEM Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton 100% Serat Kapas.

Tabel 1.

Spesifikasi Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton

Capacity	500 kg
Length	1200 mm
Width	1200 mm
Height	1200 mm
Material	Color bond
Material Thickness	0,53 mm x 2
Wall Thickness	75 mm



Gambar 7. Pengambilan Garis Untuk Suhu Dinding Komposit Pada FEM.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Serat Kapas

Serat kapas merupakan serat halus yang menutupi bijinya. Kapas mempunyai struktur fisika yaitu berwarna putih, panjangnya 100 kali dari tebal, dan penampang melintang yang berbentuk melengkung. Serat kapas memiliki susunan kimia yang terdiri dari 94% selulosa, 1,3% protein, 1,2% pektat, 0,6% lilin, 1,2% abu, 1,7% pigman dan zat lain.

### B. Finite Element Method

Konsep *Finite Element Method* dikenal dapat menyelesaikan masalah dengan membagi analisis objek menjadi ukuran yang terhingga. Selanjutnya, bagian-bagian terbatas ini akan dianalisis, dan hasilnya akan digabungkan kembali untuk mendapatkan solusi keseluruhan dari area tersebut. Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik sudut (*node*) dan area elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Memisahkan objek menjadi bagian fisik yang lebih kecil mengarahkan kita untuk membangun persamaan diferensial. Secara matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan masalah yang dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial. Namun, biasanya definisi FEM secara matematis memberikan kesan bahwa metode ini cukup rumit, sehingga pendekatan matematisnya tidak terlalu ditekankan [5].

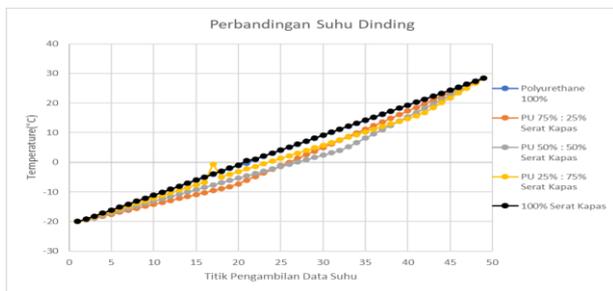
### C. Computational Fluid Dynamics

*Computational Fluid Dynamics* adalah metode perhitungan menggunakan komputasi komputer untuk menganalisis aliran fluida dan memecahkan masalah yang terkait. Software CFD mensimulasikan aliran fluida, interaksi fluida dan benda padat, serta dinamika fluida. Berbagai permasalahan seperti perpindahan panas dapat dianalisis dengan CFD menggunakan model matematis yang sesuai, seperti persamaan Reynolds-Averaged Navier Stokes (RANS) dalam tiga dimensi untuk menghitung kecepatan udara dan medan perpindahan panas.

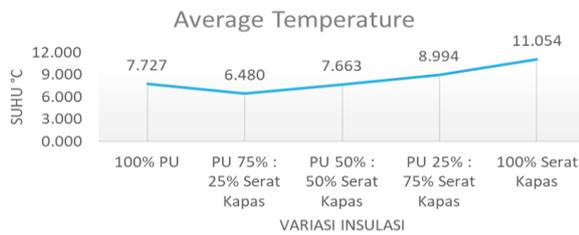
## III. URAIAN PENELITIAN

### A. Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini terdapat dua lingkup pembahasan, untuk pembahasan yang pertama yaitu Bagaimana model *prototype Eco Reefer Container* dan struktur dinding komposit berbahan serat kapas dan polyurethane untuk aplikasi *reefer container* 1/2 ton, bagaimana kinerja distribusi *thermal* pada dinding komposit, dan bagaimana kinerja distribusi suhu udara pendingin prototipe *Eco Reefer Container* 1/2 Ton dengan aplikasi dinding komposit berbahan serat kapas dan *polyurethane* memakai *software Ansys*.

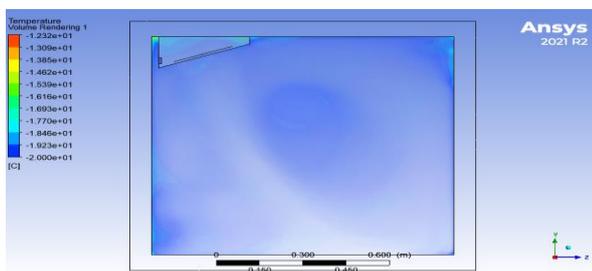


Gambar 8. Grafik Hasil Perbandingan Distribusi Suhu Dinding Komposit.

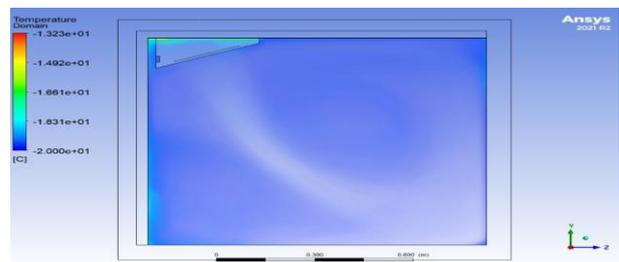


Rerata Suhu Distribusi Suhu

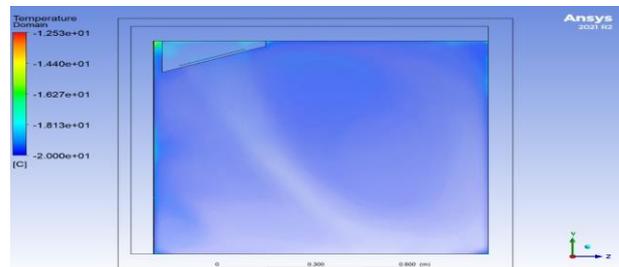
Gambar 9. Grafik Suhu Rerata 5 Variasi.



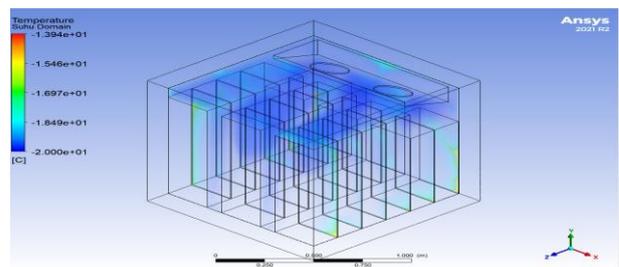
Gambar 10. Hasil Simulasi CFD Variasi 100% Polyurethane.



Gambar 11. Hasil Simulasi CFD 75% Polyurethane : 50% Serat Kapas.



Gambar 12. Hasil Simulasi CFD 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas.



Gambar 13. Hasil Simulasi CFD 100% Polyurethane.

**B. Studi Literatur**

Tahapan ini dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait dasar teori dan informasi pendukung yang bertujuan sebagai bahan referensi penelitian. Tahapan ini dilakukan dengan mencari makalah, jurnal, tesis, dan buku yang berkaitan dengan permasalahan penelitian.

**C. Studi Empiris**

Tahapan ini digunakan untuk mengumpulkan data penunjang untuk melakukan penelitian yang akan dilakukan, seperti pemodelan prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton, pemodelan struktur dinding komposit, dan spesifikasi dari dinding komposit.

**D. Pemodelan Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton**

Tahap merancang desain 3D visual dengan dinding komposit untuk variasi konvensional berupa polyurethane dan dinding komposit dengan variasi campuran polyurethane dan serat kapas.

**E. Pemodelan Struktur Dinding Komposit**

Tahap berikutnya merupakan merancang struktur dari dinding komposit prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton dengan variasi komposisi bahan pada lapisan dinding insulasinya. Variasi 1 100% Polyurethane, Variasi 2 75% Polyurethane : 25% Serat kapas, Variasi 3 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas, Variasi 4 25% Polyurethane : 75% Serat Kapas, Variasi 5 100% Serat Kapas.

**F. Simulasi FEM**

Tahap berikutnya merupakan merancang struktur dari dinding komposit prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton dengan variasi komposisi bahan pada lapisan dinding insulasinya. Variasi 1 100% Polyurethane, Variasi 2 75% Polyurethane : 25% Serat kapas, Variasi 3 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas, Variasi 4 25% Polyurethane : 75% Serat Kapas, Variasi 5 100% Serat Kapas.

**G. Simulasi CFD**

Setelah merancang struktur dari dinding komposit prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton, maka berikutnya akan dilakukan simulasi CFD dengan memakai software Ansys Workbench 2021 R2. Jenis simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Fluid Flow (Fluent).

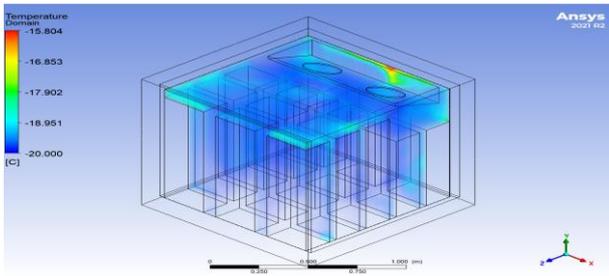
**H. Analisa**

Hasil simulasi yang telah dilakukan dengan metode FEM dan CFD digunakan untuk melihat hasil dari simulasi pendingin di dalam prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton dan distribusi suhu pendingin di dalam ruang muat prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton dengan material insulasi dinding berupa polyurethane dan panel serat kapas.

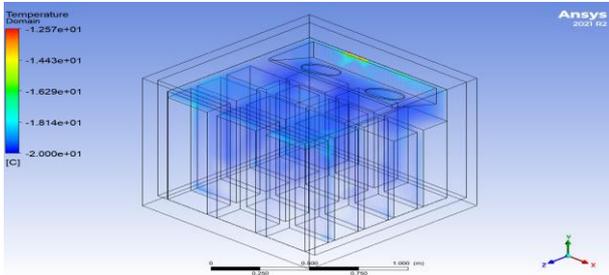
**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pemodelan 3D Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton**

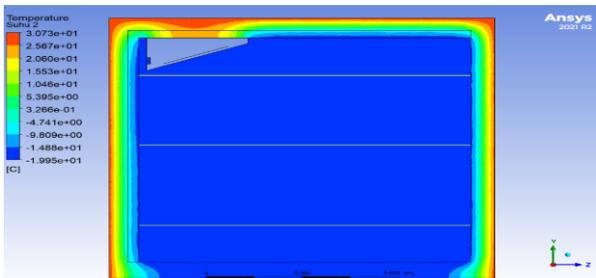
Langkah pertama yaitu dengan pemodelan prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton berdasarkan spesifikasi dari



Gambar 14. Hasil Simulasi CFD 75% Polyurethane : 25% Serat Kapas.



Gambar 15. Hasil Simulasi CFD 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas.



Gambar 16. Pengambilan Garis Distribusi Suhu Pendingin Pada CFD.

prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton. Pembuatan model dilakukan pada Rhino 7, seperti pada Gambar 1. Kemudian untuk spesifikasi Prototipe *Eco Reefer Container* ½ Ton dimuat dalam Tabel 1.

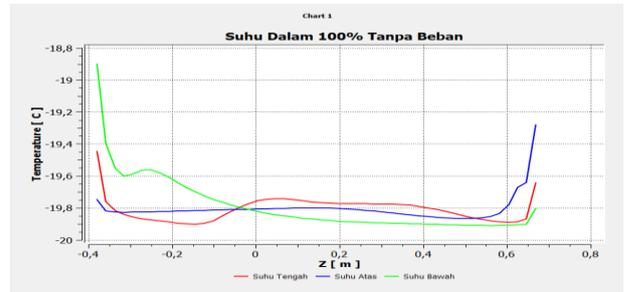
**B. Analisa Distribusi Suhu Dinding Dengan FEM**

Dalam menjalankan simulasi FEM, digunakan jenis *Steady State Thermal* dan terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, yaitu *Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution, dan Results*. Hasil dari simulasi FEM *Steady State Thermal* ditunjukkan oleh Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Setelah berhasil mendapatkan hasil simulasi pada semua variasi dinding komposit, maka dapat diambil untuk data pada bagian dinding sebelah kanan. Data yang diambil berasal dari dinding terdalam hingga terluar seperti pada Gambar 7.

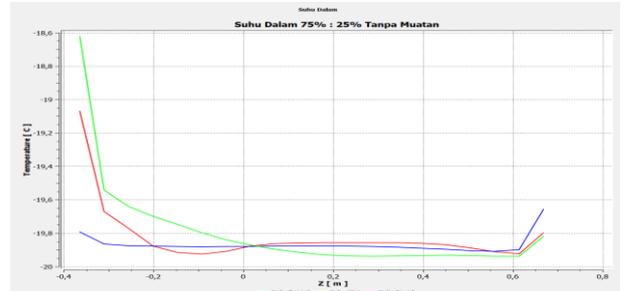
Setelah didapat data seluruh suhu dari setiap variasi seperti pada Gambar 8 maka dapat dilanjutkan untuk pemilihan desain terbaik untuk disimulasikan dengan metode CFD. Pemilihan tersebut menggunakan parameter rata-rata suhu terendah dari variasi dinding komposit. Berdasarkan Gambar 9, variasi 100% Polyurethane, variasi 75% Polyurethane : 25% Serat kapas, dan 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas menghasilkan rata-rata suhu yang paling rendah dari yang lain.

**C. Analisa Distribusi Suhu Pendingin Pada Ruang Muat Dengan CFD**

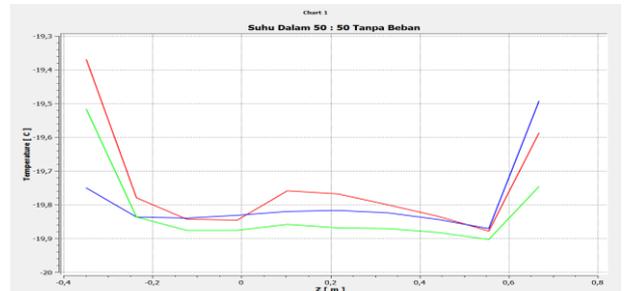
Analisa ini dilakukan memakai software Ansys dan jenis



Gambar 17. Grafik Suhu Udara Variasi 100% Polyurethane Tanpa Muatan.



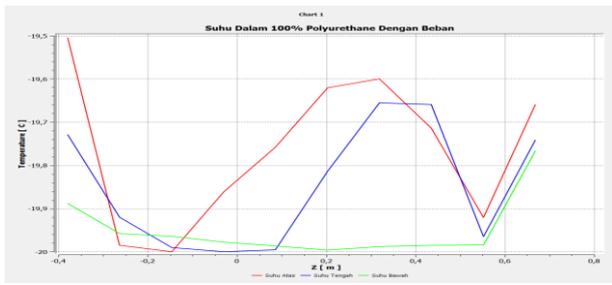
Gambar 18. Grafik Suhu Udara Variasi 75% Polyurethane : 25% Serat Kapas Tanpa Muatan.



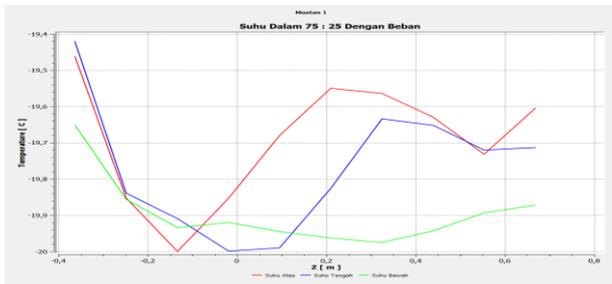
Gambar 19. Grafik Suhu Udara Variasi 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas Tanpa Muatan.

simulasi yang dilakukan adalah *Fluid Flow (Fluent)*. Jenis simulasi ini digunakan untuk menjalankan simulasi terhadap fluida dengan metode numerik. Pada simulasi ini dilakukan dengan dua jenis beban, yaitu prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton tanpa beban muatan dan dengan beban muatan. Kedua kondisi tersebut akan diaplikasikan pada ketiga variasi dinding insulasi. Hasil dari simulasi CFD tanpa beban muatan ditunjukkan oleh Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12. Kemudian hasil dari simulasi CFD prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton dengan beban muatan divisualisasikan oleh Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16. Setelah didapat data dari distribusi suhu udara pendingin pada prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton dengan metode CFD maka suhu dari ketiga variasi tersebut dapat dibandingkan satu sama lain dan diperoleh grafik dari setiap kondisi. Pada bagian berikutnya menunjukkan grafik dari kondisi prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton tanpa muatan.

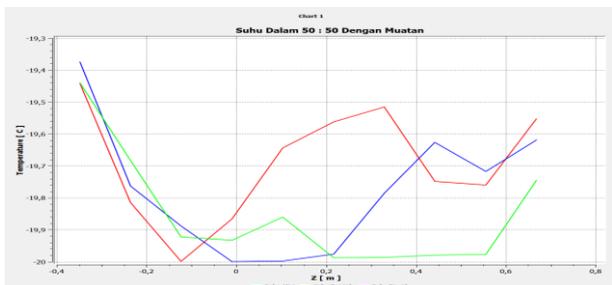
Berdasarkan Gambar 17, grafik suhu udara pada variasi 100% Polyurethane didapat suhu yang lebih stabil berada pada area atas dan Tengah, namun pada area atas dan Tengah mengalami lonjakan suhu pada bagian depan prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton, untuk suhu area bawah mendapat suhu maksimum dibagian belakang prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton yang kemudian menuju ke bagian depan suhunya turun.



Gambar 20. Grafik Suhu Udara Variasi 100% Polyurethane dengan Muatan.



Gambar 21. Grafik Suhu Udara Variasi 75% Polyurethane : 25% Serat Kapas dengan Muatan.



Gambar 22. Grafik Suhu Udara Variasi 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas dengan Muatan.

Berdasarkan Gambar 18, grafik suhu udara variasi 75% Polyurethane : 25% Serat Kapas mengalami bentuk suhu yang hampir sama, dimana suhu atas merupakan suhu yang paling stabil dari area atas dan bawah, area atas dan bawah mendapat suhu maksimum pada bagian belakang prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton. Mendekati bagian depan, suhu dari area atas, tengah, dan bawah akan mengalami lonjakan.

Berdasarkan Gambar 19, grafik dari suhu udara variasi 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas menghasilkan suhu yang sedikit berbeda, yang dimana pada area atas, tengah, dan bawah mengawali dengan suhu maksimum yang kemudian semakin ke tengah akan turun suhunya, namun pada bagian depan prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton suhunya akan mengalami lonjakan lebih tinggi. Kemudian ditampilkan grafik dari prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton dengan muatan.

Berdasarkan Gambar 20, grafik suhu udara dari variasi 100% Polyurethane dengan muatan menghasilkan grafik suhu udara yang berbeda dibandingkan tanpa muatan. Pada area bawah memiliki suhu yang lebih dingin dan stabil dibanding area atas dan tengah. Area atas dan tengah menghasilkan suhu yang kurang stabil dibandingkan dengan area bawah.

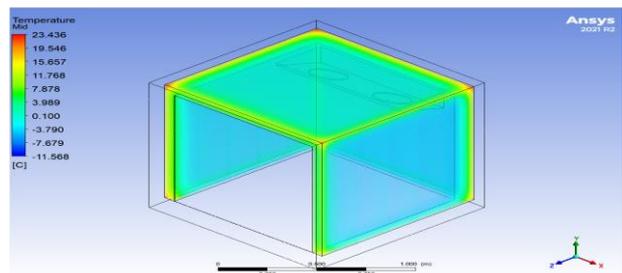
Berdasarkan Gambar 21, suhu udara pada variasi 75% Polyurethane : 25% Serat Kapas dengan muatan, suhu pada area bawah memperoleh hasil yang lebih stabil dan dingin dari suhu pada area atas dan tengah. Berdasarkan Gambar 22, suhu udara variasi 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas

Tabel 2. Data Suhu Udara Pendinginan Pada Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton Tanpa Beban

Variasi Kontainer	Temperature (°C)	
	Terpanas	Terdingin
Polyurethane 100%	-12.23	-19.98
Polyurethane 75% : 25% Serat Kapas	-13.23	-20.00
Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas	-12.53	-19.99

Tabel 3. Data Suhu Udara Pendinginan Pada Prototipe Eco Reefer Container 1/2 Ton Dengan Beban

Variasi Kontainer	Temperature (°C)	
	Terpanas	Terdingin
Polyurethane 100%	-13.940	-19.96
Polyurethane 75% : 25% Serat Kapas	-15.804	-19.99
Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas	-12.570	-19.96



Gambar 23. Volume Rendering Suhu Kapas Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Tanpa Kipas.

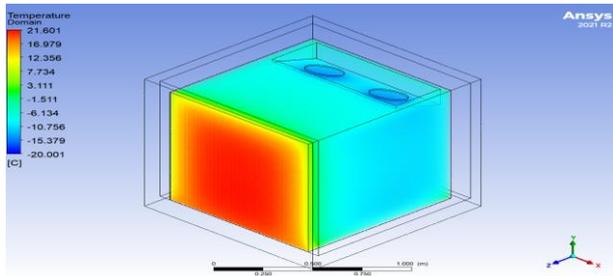
memperoleh hasil yang sedikit berbeda dengan dua variasi sebelumnya, yang dimana untuk suhu pada bagian bawah lebih dingin dari area atas dan tengah, namun dari suhu di ketiga area mendapat pola yang berbeda dari variasi sebelumnya. Kemudian data dari hasil simulasi CFD ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

D. Analisa Distribusi Suhu Pendingin Pada Ruang Muat Tanpa Kipas Dengan CFD

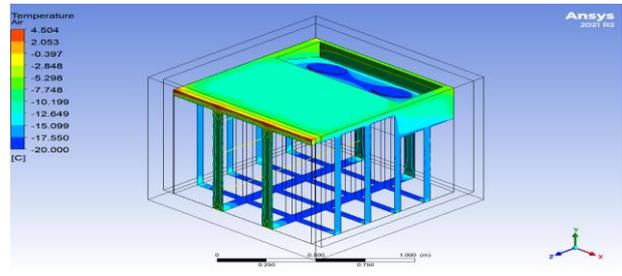
Analisa ini dilakukan memakai software Ansys dan jenis simulasi yang dilakukan adalah Fluid Flow (Fluent). Jenis simulasi ini digunakan untuk menjalankan simulasi terhadap fluida dengan metode numerik. Pada simulasi ini dilakukan dengan dua jenis beban, yaitu prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton tanpa beban muatan dan dengan beban muatan. Kedua kondisi tersebut akan diaplikasikan pada dinding insulasi polyurethane 50% : 50% serat kapas.

Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan jenis metode Transient dengan Number of Step sebanyak 100 dan Time Flow sebanyak 360 untuk diasumsikan selama 10 jam. Hasil dari simulasi CFD prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas tanpa muatan dan tanpa kipas ditunjukkan oleh Gambar 23, Gambar 24, dan Gambar 25. Sedangkan hasil dari simulasi CFD prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton 50% Polyurethane : 50% Serat Kapas dengan muatan ditunjukkan Gambar 26, Gambar 27, dan Gambar 28.

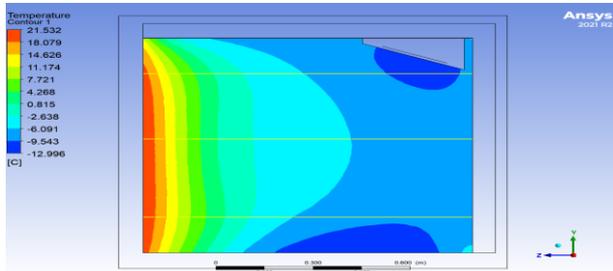
Setelah diperoleh hasil distribusi suhu pada prototipe Eco Reefer Container 1/2 ton tanpa menggunakan kipas pendinginan, maka dari setiap variasi didapatkan grafik untuk setiap kondisi. Berikutnya ditunjukkan grafik



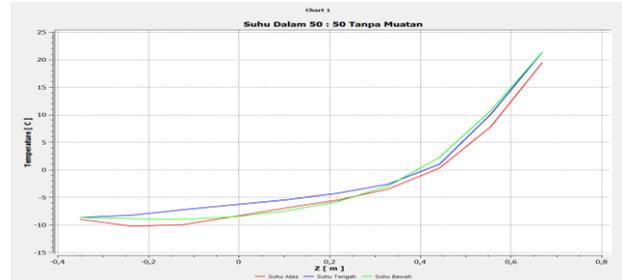
Gambar 24. Volume Rendering Suhu Udara Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Tanpa Kipas.



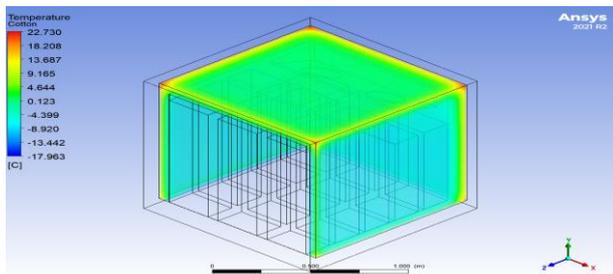
Gambar 28. Contour Suhu Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Dengan Muatan dan Tanpa Kipas.



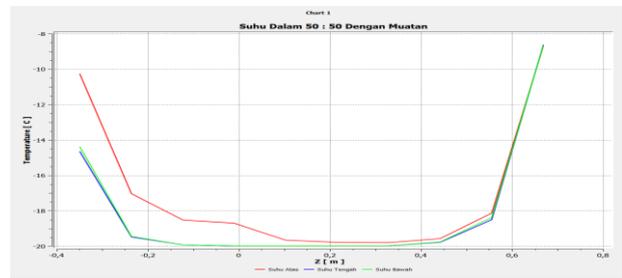
Gambar 25. Contour Suhu Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Tanpa Kipas.



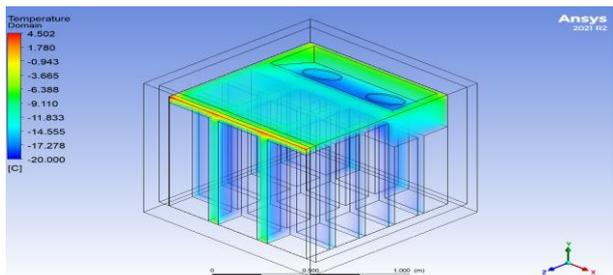
Gambar 29. Grafik Suhu Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Tanpa Muatan dan Tanpa Kipas.



Gambar 26. Volume Rendering Suhu Kapas Pada Variasi Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Dengan Muatan dan Tanpa Kipas.



Gambar 30. Grafik Suhu Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Dengan Muatan dan Tanpa Kipas.



Gambar 27. Volume Rendering Suhu Udara Pada Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas Dengan Muatan dan Tanpa Kipas.

Tabel 4.

Data Suhu Udara Pendinginan Pada Prototipe *Eco Reefer Container* ½ Ton Tanpa Kipas

Tanpa Kipas Pendinginan		
Polyurethane 50% : 50% Serat Kapas	Temperature (°C)	
	Udara Dalam	Dinding Insulasi
Tanpa Muatan	-4,114	-3,176
Dengan Muatan	-17,94	-5,989

prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton 50% *Polyurethane* : 50% Serat Kapas tanpa muatan.

Berdasarkan Gambar 29, suhu udara pada ruang muat tanpa muatan saat kipas pendinginan dimatikan, dengan suhu awal -20°C mengalami penurunan suhu sekitar -9°C hingga 21,5°C. Penurunan suhu tersebut berlangsung selama 10 jam dan rata-rata suhu udara yang didapat adalah -4,114°C dengan suhu rata-rata dinding insulasi sebesar -3,176°C.

Berdasarkan Gambar 30, suhu udara pada ruang muat dengan muatan saat kipas pendinginan dimatikan, dengan suhu awal -20°C mengalami penurunan suhu sekitar -19,9°C hingga -8,638°C. Penurunan suhu tersebut berlangsung selama 10 jam dan rata-rata suhu udara yang didapat adalah -17,94°C dengan suhu rata-rata dinding insulasi sebesar -5,989°C. Data suhu udara pendinginan pada prototipe *Eco Reefer Container* ½ ton tanpa kipas dimuat oleh Tabel 4.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan, yaitu: (1) Simulasi FEM dilakukan sebanyak 5 variasi dengan material dan komposisi yang berbeda dimana nilai suhu rata-rata setiap variasi sebagai berikut: (a) 100% *Polyurethane* bernilai 7,7273°C. (b) 75% *Polyurethane* yaitu 25% serat kapas bernilai 6,4804°C. (c) 50% *Polyurethane* yaitu 50% serat kapas bernilai 7,6629°C. (d) 25% *Polyurethane* yaitu 75% serat kapas bernilai 8,9943°C, dan (e) 100% serat kapas bernilai 11,054°C. (2) Simulasi CFD divariasikan menjadi dua kondisi yaitu tanpa beban muatan dan dengan beban muatan dengan tiga variasi material insulasi dimana nilai suhunya sebagai berikut: (a) 100% *Polyurethane* tanpa muatan yaitu rata-rata suhu ruangan -19,7503°C dengan suhu terpanas -12,232°C. (b) *Polyurethane* 75% : 25% serat kapas tanpa muatan yaitu rata-rata suhu ruangan -19,7854°C dengan suhu terpanas -13,225°C. (c) 50% *Polyurethane* : 50% serat kapas tanpa muatan yaitu rata-rata suhu ruangan -19,7845°C dengan suhu

terpanas  $-12,532^{\circ}\text{C}$ . (d) 100% *Polyurethane* dengan beban muatan yaitu rata-rata suhu ruangan  $-19,6103^{\circ}\text{C}$  dengan suhu terpanas  $-13,94^{\circ}\text{C}$ . (e) *Polyurethane* 75% : 25% serat kapas dengan beban muatan yaitu rata-rata suhu ruangan  $-19,7593^{\circ}\text{C}$  dengan suhu terpanas  $-15,804^{\circ}\text{C}$ . (f) 50% *Polyurethane* : 50% serat kapas dengan beban muatan yaitu rata-rata suhu ruangan  $-19,7608^{\circ}\text{C}$  dengan suhu terpanas  $-12,57^{\circ}\text{C}$ . (3) Hasil simulasi CFD tanpa muatan dan dengan muatan pada Prototipe *Eco Reefer Container* ½ Ton variasi *Polyurethane* 50% : 50% Serat kapas dengan kipas pendinginan dimatikan, yaitu: (a) Suhu udara ruang muat tanpa muatan dengan kipas pendinginan dimatikan bernilai  $-4,114^{\circ}\text{C}$ . (b) Suhu dinding insulasi tanpa muatan dengan kipas pendinginan dimatikan bernilai  $-3,176^{\circ}\text{C}$ . (c) Suhu udara ruang muat dengan muatan dengan kipas pendinginan dimatikan bernilai  $-17,94^{\circ}\text{C}$ . (d) Suhu dinding insulasi tanpa muatan dengan kipas pendinginan dimatikan bernilai  $-5,989^{\circ}\text{C}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Abidin, "Desain Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional Menggunakan Insulasi dari Sekam Padi," Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [2] S. Issa and W. Lang, "Airflow Simulation Inside Reefer Containers," in *International Conference on Dynamics in Logistics*, 2016, pp. 303–311, doi: 10.1007/978-3-319-23512-7\_29.
- [3] F. A. Nisa, "Penanganan Reefer Container di atas kapal MV. Sinar Solo," Program Studi Nautika, Politeknik Ilmu Pelayaran, Semarang, 2020.
- [4] P. Nasution, S. P. Fitri, and Semin, "Karakteristik fisik komposit sabut kelapa sebagai insulator palka ikan," *Berk. Perikan. Terubuk*, vol. 42, no. 2, pp. 1–11, 2014.
- [5] I. Adiwiyata, "Analisa Finite Element Method (FEM) untuk Friction Stir Welding," Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.