

STUDI DISTRIBUSI UDARA PENDINGIN *REEFER CONTAINER* IKAN PADA KERETA API MENGGUNAKAN *CFD*

Cynthia Cahya Aditama¹, Alfi Tranggono Agus Salim², Rahayu Mekar Bisono³, Luthfi Hakim⁴,
Sabdon Abdi Sucipto⁵, Firdausa Retnaning Restu⁶

^{1,2,3}Program Studi Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Majapahit Mojokerto

⁵PT PLN Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkitan Barito

⁶Unit Sistem *Engineering*, Departemen *Engineering*, PT INKA

Email: ¹aditama.ca@gmail.com, ²alfitranggono@pnm.ac.id, ³mekar@pnm.ac.id, ⁴luth@unim.ac.id,
⁵sabdonabdi.s@gmail.com, ⁶firdausa.rrestu@inka.co.id

Abstrak

Ikan segar sensitif terhadap temperatur penyimpanan. Temperatur diatas 2 °C mempercepat pertumbuhan bakteri dan menyebabkan pembusukan. Temperatur optimal penyimpanan ikan beku adalah -20 °C. *Reefer container* dengan sistem pendinginan tertutup berfungsi untuk mengawetkan dengan menjaga temperatur ikan beku. Permasalahan penelitian ini adalah distribusi udara dingin yang tidak merata di *reefer container* kereta api sehingga menurunkan kualitas ikan beku. Tujuan penelitian ini meningkatkan pemerataan distribusi udara, kecepatan, dan tekanan di *reefer container* kereta api. Solusi permasalahannya adalah simulasi dan analisis kondisi *reefer container* kereta api menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. *Reefer container* tanpa pelat pengarah disimulasikan untuk mengetahui area *reefer container* kereta api yang tidak terdistribusi merata. Distribusi udara pada *reefer container* kereta api ditingkatkan pemerataannya dengan penambahan pelat pengarah variasi sudut 40°, 50°, dan 60°. Penelitian ini menghasilkan data kualitatif (*velocity contour* dan *pressure contour reefer container*) dan kuantitatif (kecepatan dan tekanan rata-rata). Hasil penelitian ini adalah data simulasi *CFD* distribusi udara, kecepatan, dan tekanan yang merata pada *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

Kata Kunci: *reefer container, simulasi CFD, kecepatan, tekanan, pelat pengarah*

Abstract

Fresh fish is sensitive to storage temperature. Temperatures above 2 °C accelerate the growth of bacteria and cause spoilage. The optimal storage temperature for frozen fish is -20 °C. *Reefer container* with a closed cooling system serves to preserve by maintaining the temperature of frozen fish. The problem of this research is the uneven distribution of cold air in the *reefer containers* of the train, thereby reducing the quality of frozen fish. The purpose of this research is to increase the even distribution of air, velocity, and pressure in the *reefer container* of the train. The solution to the problem is simulation and analysis of the condition of the *reefer container* train using *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. *Reefer containers* without guide plates are simulated to find out the area of the train *reefer containers* that are not evenly distributed. The distribution of air in the *reefer container* of the train is improved even by the addition of guide plates with variations in angles of 40°, 50°, and 60°. This research produces qualitative data (*velocity contour* and *pressure contour reefer container*) and quantitative (average velocity and pressure). The results of this study are *CFD* simulation data of uniform distribution of air, speed, and pressure on the *reefer container* train with a 40° guide plate.

Keywords: *reefer container, CFD simulation, velocity, pressure, guide plate*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan produksi hasil tangkapan laut dari sektor kelautan dan perikanan di Indonesia terus digencarkan agar dapat bersaing dari sisi kuantitas dan kualitas (Biro Komunikasi, 2021). Akan tetapi, terjadi kesulitan pada transportasi berpendingin untuk pendistribusian hasil laut (PT INKA, 2021). Salah satu transportasi berpendingin yang digunakan untuk mengawetkan dengan menjaga temperatur muatan adalah *reefer container* (Brosnan & Sun, 2001). Pendistribusian ikan menggunakan kapal dan truk masih kurang efisien karena mahalnya biaya transportasi dan lamanya waktu perjalanan sampai ke tujuan. Saat ini, PT INKA sedang mengembangkan *reefer container* yang diaplikasikan pada kereta api dengan temperatur pengangkutan ikan $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Restu, 2021). Pada *reefer container*, temperatur yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan bakteri dan menyebabkan pembusukan, sedangkan temperatur yang rendah dapat menyebabkan ikan mengalami perubahan warna (Kan et al., 2017). Temperatur berkaitan erat dengan kecepatan dan tekanan udara.

Distribusi udara dipengaruhi kecepatan udara yang melintas. Semakin besar kecepatannya, maka semakin besar jumlah udara yang didistribusikan (Dewi, 2012). Permasalahannya, pemerataan distribusi udara, kecepatan, dan tekanan di *reefer container* sulit dicapai karena perbedaan pendinginan pada muatan yang diangkut. *Reefer container* mengalirkan udara dingin dari refrigerator unit menuju ke muatan melalui saluran lantai yang disebut *t-floor*. *Reefer container* menggunakan *t-floor* mendistribusikan udara dingin lebih baik dibandingkan dengan *reefer container* menggunakan lantai datar (Budiyanto & Suheriyanto, 2021). Akan tetapi, distribusi udara *reefer container* menggunakan *t-floor* belum terdistribusi merata karena muatan di dekat refrigerator unit mendapatkan pendinginan sedikit dibandingkan dengan muatan yang jauh dari refrigerator unit (Qusyairi, 2015).

Pola aliran udara dan tata letak ruang berpendingin berpengaruh terhadap distribusi udara sehingga perlu diatur dengan menambahkan pelat pengarah untuk meningkatkan kinerja *reefer container* (Supriyanto, 2017). Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan pemerataan distribusi udara, kecepatan, dan tekanan *reefer container* kereta api. Pendinginan yang tidak merata di *reefer container* kereta api dapat ditingkatkan dengan penambahan pelat pengarah di bagian *t-floor reefer container* dengan variasi sudut 40° , 50° , dan 60° . *Computational Fluid*

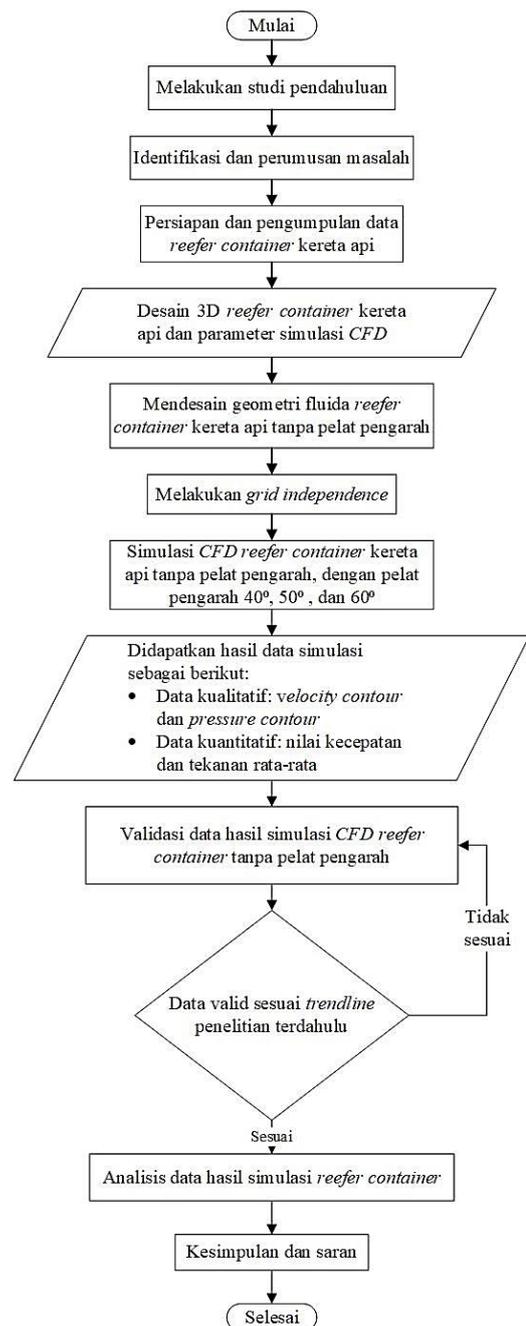
Dynamics (CFD) merupakan simulasi komputer yang digunakan pada penelitian ini untuk menganalisis aliran fluida *reefer container* (Supriyanto, 2017).

II. METODE

Pada bab ini dipaparkan langkah-langkah penelitian yang berurutan dan berkesinambungan sebagai acuan penyelesaian suatu permasalahan.

Diagram Alir Penelitian

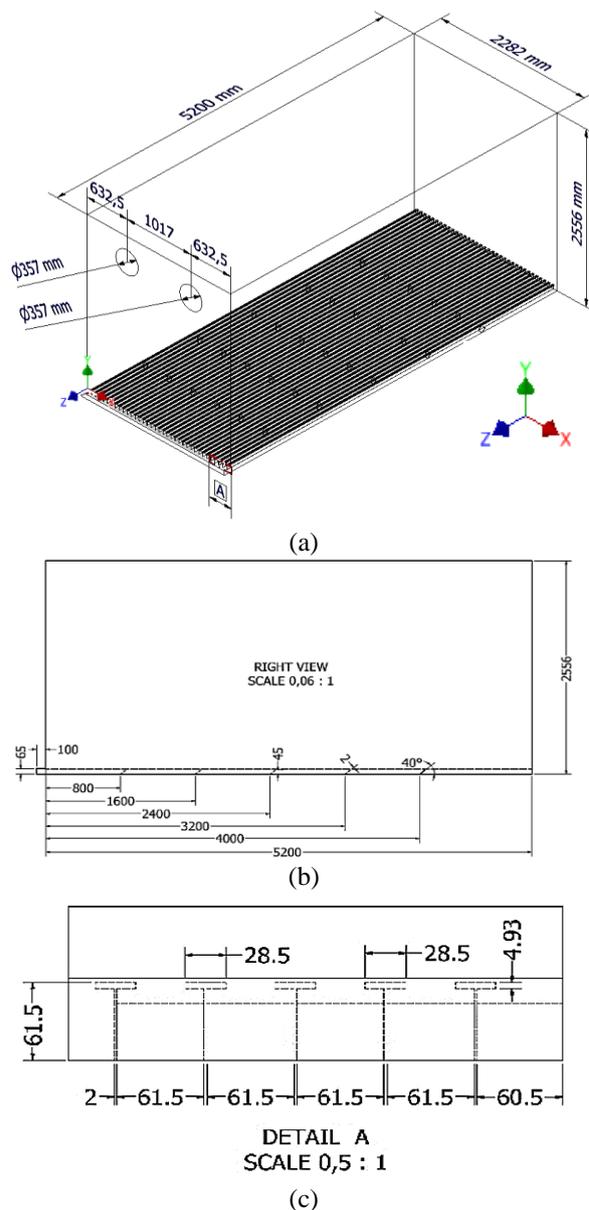
Tahapan penelitian simulasi *CFD reefer container* pada kereta api ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian (mulai hingga selesai)

Objek Penelitian

Pembuatan geometri fluida *reefer container* kereta api menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2020 Student Version*. Geometri fluida *reefer container* merupakan penyederhanaan desain 3D *reefer container* kereta api berdasarkan data dimensi dari PT INKA. Geometri fluida *reefer container* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri fluida *reefer container* (a) *isometric view*, (b) *right view*, (c) tampilan *t-floor*

Berdasarkan Gambar 2, desain 3D yang disimulasikan merupakan bagian *reefer container* yang dialiri fluida (udara). Sumbu X merupakan lebar, sumbu Y merupakan tinggi, dan sumbu Z merupakan panjang *reefer container* kereta api.

Tahapan Simulasi *CFD Reefer Container*

Secara umum simulasi *CFD reefer container* terdiri dari beberapa tahapan antara lain:

1. Geometri

Pembuatan geometri bertujuan mendeskripsikan bentuk atau ruang masalah yang disimulasikan dan dianalisis sesuai kondisi nyata objek *reefer container* pada kereta api (Erlambang, 2021).

2. Meshing

Proses mencacah suatu domain menjadi subdomain yang lebih kecil (*element*) untuk menyimpan variabel *fluid mechanics*. Semakin besar jumlah *element*, hasil yang didapatkan semakin akurat. Namun, semakin besar *element* maka proses simulasi numerik semakin berat dan lama sehingga file yang dihasilkan semakin besar (Prasetyo et al., 2018). Pada simulasi *CFD* perlu melakukan *grid independence* untuk memverifikasi bahwa jumlah *element* pada *meshing* yang digunakan optimum untuk proses perhitungan sehingga tidak bergantung pada jumlah *element* (Pradana, 2019).

3. Setup

Pada proses *setup* mendefinisikan fenomena fisika yang dilibatkan. Setiap mengaktifkan salah satu *models*, maka persamaan *governing equation* akan berubah atau bertambah sehingga mempengaruhi hasil simulasi (Erlambang, 2021).

4. Solution

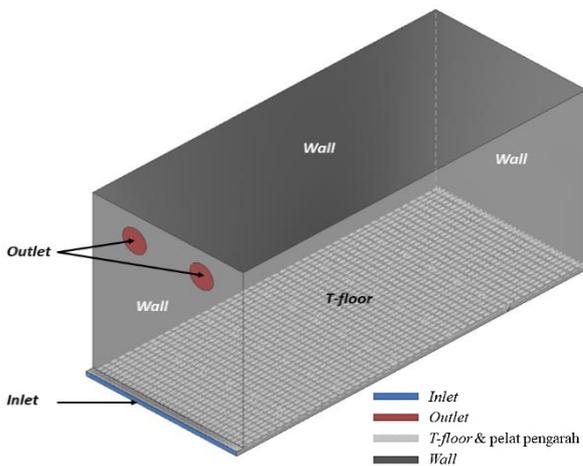
Pemilihan *models* yang telah diinputkan pada *setup* mempengaruhi metode perhitungan. Apabila pemilihan *models* tepat, maka perhitungan yang didapatkan memiliki nilai yang konvergen (Yudhatama & Hidayat, 2018).

5. Result

Merupakan hasil yang didapatkan pada simulasi *CFD*. Hasil simulasi pada penelitian ini adalah data kualitatif (*velocity* dan *pressure contour*) dan data kuantitatif (kecepatan dan tekanan rata-rata permukaan).

Simulasi *CFD Reefer Container*

Simulasi *CFD reefer container* dilakukan di PT INKA menggunakan *Ansys Fluent 2021 R2*. *Boundary condition reefer container* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Boundary condition reefer container*

Berdasarkan Gambar 3, *inlet* merupakan saluran masuk dari sistem refrigerasi menuju ke area pendinginan. *Outlet* merupakan saluran keluar menuju sistem refrigerasi. *Wall* merupakan batas fluida yang disimulasikan. *T-floor* merupakan saluran untuk mengalirkan udara menuju ke beban pendingin yang diarahkan oleh pelat pengarah. Pelat pengarah yang digunakan adalah 40°, 50°, dan 60° mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Supriyanto, 2017)

Parameter simulasi *CFD reefer container* pada kereta api yang digunakan sebagai berikut:

- *Velocity inlet* yang digunakan 14,7 m/s dengan *operating pressure* 101325 Pa dalam kondisi *steady*.
- Bentuk *meshing poly-hexcore* (kombinasi *polyhedron* dan *hexahedron*) sehingga dapat mempertahankan akurasi *meshing*. Pada area dekat *boundary*, bentuk *elements* dipaksa menjadi *polyhedron* karena memiliki kemampuan adaptif terhadap kelengkungan. Sedangkan di bagian tengah dipaksa menjadi *hexahedron* karena mampu mengurangi jumlah *elements* (Erlambang, 2021).
- Model turbulen *SST k-omega* karena memberikan prediksi pemisahan aliran yang lebih akurat dari model *RANS* lainnya (ANSYS, Inc., 2016). *SST k-omega* menggabungkan model *k-omega Wilcox* asli untuk digunakan di dekat dinding dan model *k-epsilon* standar yang jauh dari dinding serta menggunakan fungsi pencampuran dan formulasi *eddy viscosity* yang dimodifikasi untuk memperhitungkan efek transpor dari prinsip *turbulent shear stress* (Menter, 1994).
- Metode *pressure-based coupled* untuk memperoleh implementasi fase tunggal yang lebih kuat dan efisien pada aliran *steady state* karena memecahkan persamaan kontinuitas berbasis momentum dan tekanan bersama-

sama (ANSYS, Inc., 2015). Simulasi ini juga menggunakan *second order upwind* dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dan akurat untuk aliran yang kompleks (ANSYS, Inc., 2012).

- *Hybrid initialization* memberikan kecepatan awal dan medan tekanan yang lebih baik dari pada *standard initialization*. Penggunaan *hybrid initialization* dapat mempercepat simulasi menjadi konvergen (ANSYS, Inc., 2015).

Validasi Data

Validasi merupakan proses pembuktian kebenaran terhadap hasil simulasi. Untuk mendapatkan hasil simulasi *CFD* yang valid dan layak, maka diperlukan data pembanding sebagai acuan (Yudhatama & Hidayat, 2018). Acuan yang digunakan yaitu penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Getahun et al., 2018). Tujuan penelitian Getahun et al. adalah membandingkan pengaruh desain terhadap aliran udara di dua jenis *reefer* dengan desain lantai yang berbeda yaitu lantai datar dan *t-floor* menggunakan simulasi *CFD*. Getahun et al. melakukan penelitian pada *reefer* dengan panjang 11,56 m, lebar 2,29 m, dan tinggi 2,58 m. Simulasi *CFD* dilakukan dalam keadaan *steady* dengan *velocity inlet* sebesar 8,5 m/s menggunakan *scheme pressure-velocity coupling* yaitu *SIMPLE* dan *second-order upwind discretization* untuk momentum dan laju disipasi. Getahun et al. menunjukkan bahwa *reefer* dengan *t-floor* meningkatkan pergerakan udara vertikal yang seragam dibandingkan *reefer* dengan lantai datar. Selanjutnya, hasil penelitian Getahun et al. dijadikan data validasi penelitian *reefer container* pada kereta api ini. Data validasi yang digunakan adalah *trendline velocity magnitude*. Hal ini disebabkan karena perbedaan dimensi *reefer*, parameter, dan *tools* pada *software* simulasi *CFD* yang sudah *update*.

Teknik Analisis Data

Pergerakan aliran fluida *reefer container* dianalisis dengan menghitung *reynolds number* yang merupakan perbandingan gaya inersia (gaya dorong) suatu sistem terhadap gaya *viscous* (gaya gesek) pada fluida. Berikut merupakan rumus bilangan *reynolds number* (Hirsch, 2007).

$$Re = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{Gaya viskos}} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} \dots\dots\dots (1)$$

Re merupakan *reynolds number*, *v* kecepatan fluida (m/s), *l* panjang *reefer container* (m), ρ massa jenis fluida (kg/m³), μ viskositas absolut fluida (Pa. s). Gaya viskos melawan gerakan sebagian fluida relatif terhadap yang lain (Effendi

& Adawiyah, 2014). Semakin besar viskositas suatu fluida, maka semakin sulit fluida untuk bergerak dan mengalir. Viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul udara. Viskositas berkaitan dengan tekanan, semakin tinggi tekanan maka semakin besar viskositas suatu fluida (Lumbantoruan & Yulianti, 2016).

Penurunan tekanan disebabkan oleh gaya gesek, gaya gravitasi, belokan, dan perubahan kecepatan (Sarjito et al., 2017). Penurunan tekanan terjadi karena gesekan fluida yang mengalir dengan dinding sehingga terjadi perbedaan tekanan dan mempengaruhi keseragaman vektor kecepatan aliran. Perbedaan tekanan juga dipengaruhi oleh *reynold number* (Zainudin et al., 2012). Aliran udara *reefer container* merata ketika aliran udara di dekat area *t-floor* lebih tinggi, di area tengah lebih rendah, dan di area atas/atap lebih tinggi (Getahun et al., 2018).

Data yang dianalisis pada penelitian ini adalah data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif (*velocity* dan *pressure contour reefer container*) digunakan untuk memperjelas pergerakan aliran dan distribusi udara pada kereta api. Data kualitatif diambil menggunakan *plane* pada bidang YZ dengan jarak 475 mm dari titik sumbu *reefer container*. Sedangkan data kuantitatif didapatkan dengan membagi *reefer container* menjadi lima *plane* pengukuran pada panjang, lebar, dan tinggi sama rata. Masing-masing *plane* mendapatkan data rata-rata permukaan (*area-weighted average*) kecepatan dan tekanan *reefer container* pada kereta api.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pergerakan aliran fluida *reefer container* kereta api dapat diketahui dengan menghitung *reynolds number*:

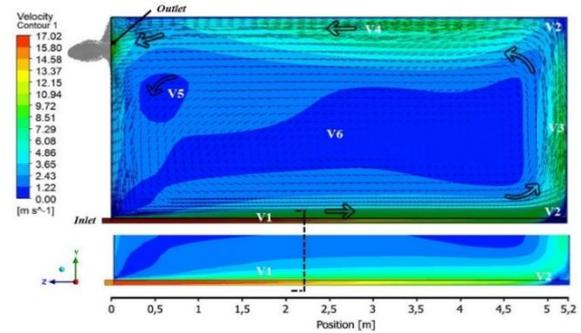
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} = \frac{1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot 14,7 \frac{m}{s} \cdot 5,2 m}{0,0000181 Pa \cdot s} = 5.173.425,414$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa aliran pergerakan fluida *reefer container* kereta api termasuk dalam aliran turbulen (Simanjuntak et al., 2017).

Hasil data kualitatif (*velocity* dan *pressure contour reefer container*) ditunjukkan sebagai berikut.

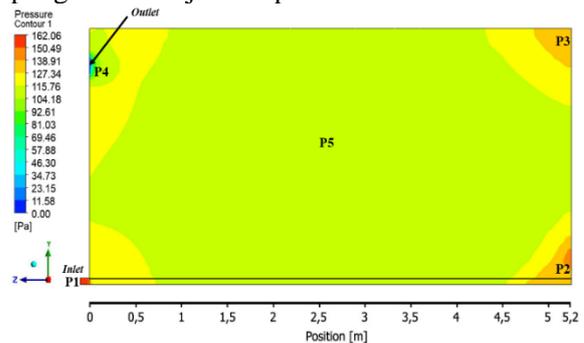
Reefer Container tanpa Pelat Pengarah

Kecepatan *reefer container* kereta api tanpa pelat pengarah ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Velocity contour reefer container* tanpa pelat pengarah

Tekanan *reefer container* kereta api tanpa pelat pengarah ditunjukkan pada Gambar 5.

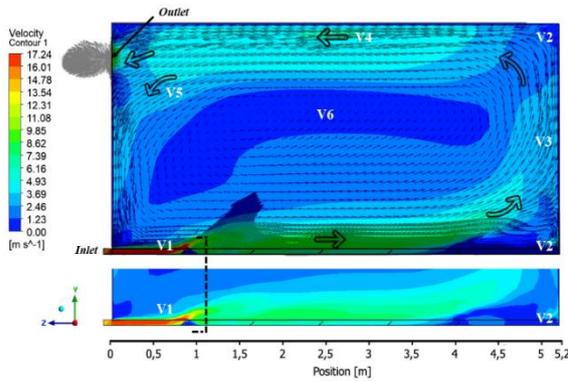


Gambar 5. *Pressure contour reefer container* tanpa pelat pengarah

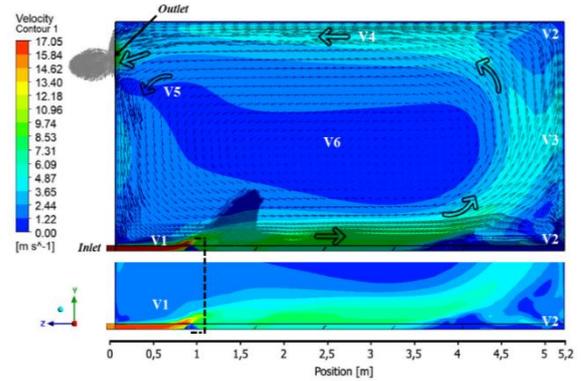
Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, aliran udara masuk melalui *inlet* menuju profil *t-floor reefer container* (V1 & P1). Pada jarak $\geq 4,5$ m aliran udara bergerak secara vertikal mengikuti geometri *reefer container*. Aliran udara cenderung melekat pada dinding *reefer container* karena efek Coanda sehingga menghasilkan kecepatan yang tinggi (Getahun et al., 2018). Asas Bernoulli menyatakan semakin besar kecepatan fluida di ruang tertutup, maka tekanan yang dihasilkan semakin kecil (Sultan et al., 2020). Kecepatan V2 rendah dan tekanan P2 & P3 tinggi karena terjadi viskositas (tumbukan antar partikel udara). Semakin besar viskositas maka tekanan yang dihasilkan semakin tinggi (Lumbantoruan & Yulianti, 2016). Udara mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah (Erlambang, 2021), sehingga udara keluar menuju *outlet* (P4) karena terjadi perbedaan tekanan.

Reefer Container dengan Pelat Pengarah 40°

Kecepatan *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40° ditunjukkan pada Gambar 6.

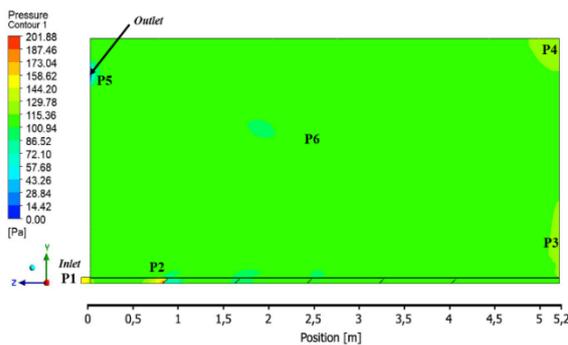


Gambar 6. *Velocity contour reefer container* dengan pelat pengarah 40°



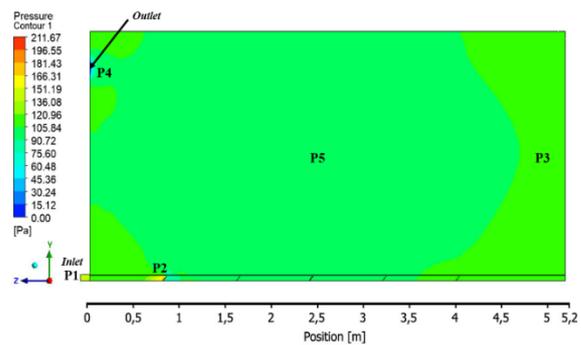
Gambar 8. *Velocity contour reefer container* dengan pelat pengarah 50°

Tekanan *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40° ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Pressure contour reefer container* dengan pelat pengarah 40°

Tekanan *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 50° ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. *Pressure contour reefer container* dengan pelat pengarah 50°

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7, pada jarak 0,8 m terdapat pelat pengarah dengan sudut 40°. Aliran udara yang mengenai pelat pengarah mengarah ke atas (V1) dan menyebabkan perubahan pada area *reefer container* (V6). Pelat pengarah menyebabkan tekanan pada P2 tinggi karena terjadi gesekan antar pelat pengarah dan udara sehingga terjadi tumbukan antar vektor (Lumbantoruan & Yulianti, 2016). Kecepatan V2 rendah karena terjadi viskositas (tumbukan antar partikel udara). Pada jarak $\geq 3,5$ m aliran udara bergerak menuju V3 dan V4 serta cenderung melekat pada dinding *reefer container* karena efek Coanda sehingga menghasilkan kecepatan yang tinggi. Tekanan P3 dan P4 tinggi karena gesekan udara dengan dinding saat udara melintas sehingga memperlambat udara mengalir dan menyebabkan tumbukan antar vektor. Udara keluar menuju *outlet* karena terjadi perbedaan tekanan (P5), sebagian udara tidak keluar dan bersirkulasi di dalam *reefer container* (Getahun et al., 2018).

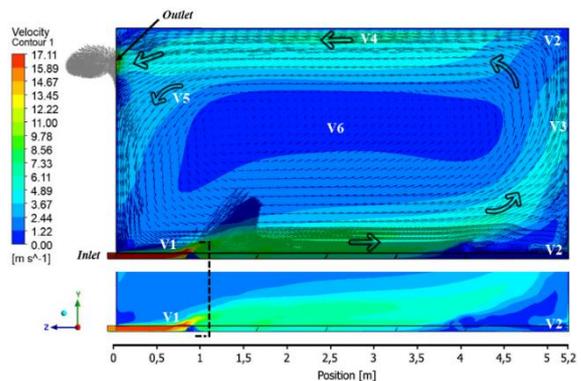
Reefer Container dengan Pelat Pengarah 50°

Kecepatan *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 50° ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9, jarak 0,8 m terdapat pelat pengarah dengan sudut 50°. Fenomena kecepatan dan tekanan *reefer container* dengan pelat pengarah 50° mirip dengan pelat pengarah 40°. Perbedaan di antara keduanya di area V6, *reefer container* dengan pelat 50° memiliki *velocity contour* dengan luas area lebih besar dibandingkan dengan pelat pengarah 40°.

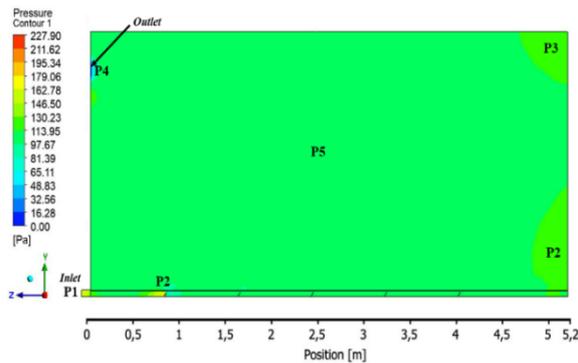
Reefer Container dengan Pelat Pengarah 60°

Kecepatan *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 60° ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. *Velocity contour reefer container* dengan pelat pengarah 60°

Tekanan *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 60° ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Pressure contour reefer container* dengan pelat pengarah 60°

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11, jarak 0,8 m terdapat pelat pengarah dengan sudut 60°. Perbedaan kecepatan dan tekanan *reefer container* dengan pelat pengarah dipengaruhi oleh perbedaan sudut yang berdampak pada area tengah *reefer container* (V6). Semakin sempit luas area V6 maka distribusi udara semakin merata.

Penambahan pelat pengarah sudah optimal untuk mendistribusikan udara secara merata karena udara dapat mengarah secara vertikal sehingga berpengaruh terhadap kecepatan dan tekanan dibandingkan *reefer container* tanpa pelat pengarah. Berdasarkan *velocity* dan *pressure contour*, *reefer container* terdistribusi secara merata pada *YZ plane* adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

Analisis Data Hasil Simulasi CFD

Reefer container pada kereta api memiliki kecepatan dan tekanan yang merata jika selisih kecepatan dan tekanan yang tinggi dengan yang rendah memiliki selisih yang paling kecil. Jarak *plane* diukur dari titik sumbu *reefer container*. Posisi *plane* pengukuran data kuantitatif ditampilkan pada pada Tabel 1.

Tabel 1. Posisi *plane* pengukuran *reefer container*

Keterangan	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
	dalam mm				
Panjang (XY <i>plane</i>)	1040	2080	3120	4160	5000
Lebar (YZ <i>plane</i>)	475	920	1363	1807	2252
Tinggi XZ <i>plane</i>)	511,2	1022,4	1533,6	2044,8	2500

Kecepatan dan tekanan rata-rata *reefer container* di bidang XY *plane* tampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kecepatan rata-rata pada XY *plane*

Nama	Kecepatan (m/s)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	2,272	2,446	2,443	2,339	4,267
Pelat pengarah 40°	2,549	2,686	2,696	2,686	2,609
Pelat pengarah 50°	2,581	2,668	2,661	2,678	2,874
Pelat pengarah 60°	2,638	2,764	2,724	2,702	2,655

Tabel 3. Tekanan rata-rata pada XY *plane*

Keterangan	Tekanan (Pa)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	113,33	111,33	110,86	111,69	120,18
Pelat pengarah 40°	103,75	101,60	101,79	105,17	112,43
Pelat pengarah 50°	102,44	100,87	101,03	103,60	112,12
Pelat pengarah 60°	103,62	101,45	101,87	105,24	113,45

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, selisih kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata tertinggi dan terendah paling kecil pada masing-masing *plane XY* adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

Kecepatan dan tekanan rata-rata *reefer container* di bidang YZ *plane* tampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Kecepatan rata-rata pada YZ *plane*

Nama	Kecepatan (m/s)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	2,660	2,462	2,721	2,747	2,312
Pelat pengarah 40°	2,760	2,629	2,559	2,784	2,704
Pelat pengarah 50°	2,483	2,606	2,973	2,902	2,986
Pelat pengarah 60°	2,754	2,634	2,739	2,818	3,102

Tabel 5. Tekanan rata-rata pada YZ *plane*

Keterangan	Tekanan (Pa)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	113,33	111,33	110,86	111,69	120,18
Pelat pengarah 40°	103,75	101,60	101,79	105,17	112,43
Pelat pengarah 50°	102,44	100,87	101,03	103,60	112,12
Pelat pengarah 60°	103,62	101,45	101,87	105,24	113,45

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, selisih nilai kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata tertinggi dan terendah paling kecil pada masing-masing *plane YZ* adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

Kecepatan dan tekanan rata-rata *reefer container* di bidang XZ *plane* tampilkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Kecepatan rata-rata pada XZ *plane*

Nama	Kecepatan (m/s)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	1,817	1,288	1,640	2,813	4,176
Pelat pengarah 40°	2,236	1,662	1,605	3,115	3,747
Pelat pengarah 50°	2,433	1,520	1,598	3,092	3,927
Pelat pengarah 60°	2,478	1,666	1,667	3,203	3,906

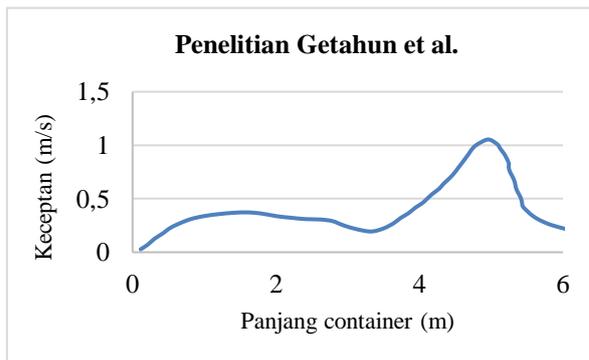
Tabel 7. Tekanan rata-rata pada XZ *plane*

Keterangan	Tekanan (Pa)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	112,97	112,06	112,30	112,84	115,20
Pelat pengarah 40°	104,75	103,48	103,58	105,04	106,37
Pelat pengarah 50°	103,81	102,30	102,42	104,03	105,62
Pelat pengarah 60°	104,91	103,49	103,54	105,01	106,59

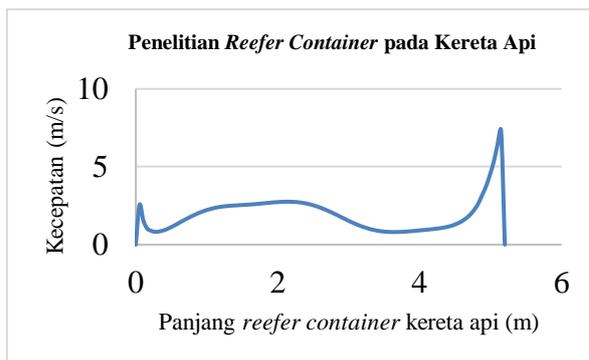
Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7, selisih nilai kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata tertinggi dan terendah paling kecil pada masing-masing *plane XZ* adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

Validasi data hasil simulasi CFD

Hasil simulasi *reefer container* kereta api divalidasi berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Getahun et al., 2018). Data yang dibandingkan adalah data kecepatan simulasi CFD *reefer container* tanpa pelat pengarah dengan jarak 2/3 dari lebar *reefer container* dengan ketinggian 9 mm di atas lantai. Grafik kecepatan penelitian Getahun et al. ditunjukkan pada Gambar 12, sedangkan grafik kecepatan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Grafik kecepatan penelitian terdahulu
Sumber: Getahun et al., 2018



Gambar 13. Grafik kecepatan *reefer container* kereta api

Berdasarkan Gambar 12 dan Gambar 13, dapat diamati bahwa *trendline* kecepatan pada penelitian Getahun et al. dengan penelitian *reefer container* kereta api mirip. Faktor penyebab *trendline* kecepatan tersebut tidak sama persis di antaranya parameter yang berbeda seperti: tipe *meshing*, ukuran *meshing*, *solution methods*, *velocity magnitude*, spesifikasi komputer, dan lain-lain.

Pada penelitian ini, pada jarak 0 m *reefer container* pada kereta api memiliki kecepatan tinggi karena area *inlet*. Kecepatan naik secara

drastis pada jarak ± 5 meter karena udara bergerak dari tekanan yang tinggi ke tekanan yang rendah sehingga udara dari *inlet* secara bersamaan mengarah ke atas (vertikal) pada jarak ± 5 meter. Fenomena ini menyebabkan kecepatan yang dihasilkan tinggi karena terjadi viskositas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data yang dihasilkan pada penelitian ini valid berdasarkan validasi kecepatan terhadap panjang *reefer container* yang dilakukan (Getahun et al., 2018).

IV. PENUTUP

Pergerakan aliran udara pada *reefer container* kereta api adalah turbulen karena *reynold number* yang dihasilkan sebesar 5.173.425,414. Distribusi udara *reefer container* pada kereta api tanpa pelat pengarah belum terdistribusi secara merata. Penambahan pelat pengarah memberikan pengaruh pada kecepatan dan tekanan *reefer container* pada kereta api karena dapat mengarahkan udara secara vertikal (tengah *reefer container* pada kereta api) pada titik-titik tertentu. Besar sudut pelat pengarah berpengaruh terhadap area tengah *reefer container*.

Berdasarkan *velocity contour* dan *pressure contour* serta kecepatan dan tekanan rata-rata permukaan pada *reefer container* kereta api pada bidang XY, YZ, dan XZ *plane* menunjukkan desain pelat pengarah yang efektif untuk mendistribusikan kecepatan dan tekanan adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Anslys, I. (2009). *Introductory Fluent Training, Chapter 5—Solver Settings*.
- ANSYS, I. (2015). *Lecturer 7: Mesh Quality & Advanced Topics*.
- Anslys, I. (2016). *Introduction to ANSYS Fluent Lecture 7: Turbulence Modeling*. Anslys.
- Biro Komunikasi. (2021, September 10). Kejar Produksi Sektor Kelautan dan Perikanan, Reefer Container Karya Bangsa Siap Uji Coba. <https://Maritim.Go.Id/Kejar-Produksi-Sektor-Kelautan-Perikanan-Reefer-Container-Karya/>. <https://maritim.go.id/kejar-produksi-sektor-kelautan-perikanan-reefer-container-karya/>
- Brosnan, T., & Sun, D.-W. (2001). *Precooling techniques and applications for horticultural products Ð a review*. International Journal of Refrigeration, 17.
- Budiyanto, M. A., & Suheriyanto, N. (2021). *Study on The Inlet Air Velocity on The Refrigerated Container; Comparison Between Flat Floor*

- And T-Bar Floor*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1034(1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1034/1/012063>
- Dewi, F. G. U. (2012). Pengaruh Kecepatan dan Arah Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara dalam Ruang pada Sistem Ventilasi Alami. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3(2), 299–304.
- Effendi, M. S., & Adawiyah, R. (2014). Penurunan Nilai Kekentalan Akibat Pengaruh Kenaikan Temperatur pada Beberapa Merek Minyak Pelumas. *Jurnal INTEKNA*, 1, 1–101.
- Erlambang, D. (2021). *Physic Setup*. PT Optimaxx Prima Teknik.
- Getahun, S., Ambaw, A., Delele, M., Meyer, C. J., & Opara, U. L. (2018). *Experimental and Numerical Investigation of Airflow Inside Refrigerated Shipping Containers*. *Food and Bioprocess Technology*, 11(6), 1164–1176. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2086-5>
- Hirsch, C. (2007). *Numerical Computation of Internal External Flows, the Fundamental of Computational Fluid Dynamics*. John Wiley Sons.
- Kan, A., Hu, J., Guo, Z., Meng, C., & Chao, C. (2017). *Impact of Cargo Stacking Modes on Temperature Distribution Inside Marine Reefer Containers*. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 25(03), 1750020. <https://doi.org/10.1142/S2010132517500201>
- Lumbantoruan, P., & Yulianti, E. (2016). Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli). *Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (Sainmatika)*, 13(2), 26–34. <http://dx.doi.org/10.31851/sainmatika.v13i2.993>
- Menter, F. R. (1994). *Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications*. *AIAA Journal*, 32(8), 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- Pradana, M. A. (2019). Studi *Sloshing* Tangki LNG dengan Metode Eksperimen dan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Program Studi Teknologi Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prasetyo, A. B., Azmi, A. A., & Pamuji, D. S. (2018). Pengaruh Perbedaan *Mesh* Terstruktur dan *Mesh* Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan *Mold* Injeksi Produk Plastik. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII*, 400–406.
- PT INKA. (2021, September 24). PT INKA-Kemenko Marves Kembangkan Peti Kemas Ikan Laut. <https://www.inka.co.id/berita/856>
- Qusyairi, M. (2015). Analisa Modifikasi Sirkulasi Aliran Udara Pendingin di Dalam *Cold Storage*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Restu, F. R. (2021, Oktober). *Interview of Reefer Container PT INKA Madiun [Personal communication]*.
- Sarjito, S., Subroto, S., & Kurniawan, A. (2017). Studi Distribusi Tekanan Aliran Melalui Pengecilan Saluran Secara Mendadak dengan Belokan pada Penampang Segi Empat. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 17(1), 8–22. <https://doi.org/10.23917/mesin.v17i1.3302>
- Simanjuntak, H. F. P., Manik, P., & Santosa, A. W. B. (2017). Analisa Pengaruh Panjang, Letak dan Geometri Lunas Bilga Terhadap Arah dan Kecepatan Aliran (*Wake*) Pada Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1), 8.
- Sultan, A. D., Rizky, R., Hidayat, H., Mulyani, S., & Yusuf, W. A. (2020). *Analysis of the Effect of Cross-sectional Area on Water Flow Velocity by Using Venturimeter Tubes*. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 94–99. <https://doi.org/10.26618/jpf.v8i1.3199>
- Supiyanto, Qiram, I., & Rubiono, G. (2017). Pengaruh Pelat Pengarah (*Baffle*) Terhadap Distribusi Temperatur *Cold Storage* Skala Kecil. *Jurnal V-Mac*, 2(1).
- Supriyanto, E. (2017). Simulasi Distribusi Temperatur Ruang Ber AC pada Berbagai Variasi Temperatur di Sekitar Evaporator. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Yudhatama, I. W., & Hidayat, M. I. P. (2018). Simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* Erosi Partikel Pasir dalam Aliran Fluida Gas Turbulen pada *Elbow* Pipa Vertikal – Horizontal. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 6.
- Zainudin, Z., Adi Sayoga, I. M., & Nuarsa, M. (2012). Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap *Head Losses* Aliran Pipa. *Dinamika Teknik Mesin*, 2(2). <https://doi.org/10.29303/d.v2i2.97>