

## Studi Distribusi Udara Pendingin *Reefer Container* Ikan pada Kereta Api menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Cynthia Cahya Aditama<sup>a</sup>, Alfi Tranggono Agus Salim<sup>a</sup>, Rahayu Mekar Bisono<sup>a</sup>, Luthfi Hakim<sup>b</sup>, Sabdono Abdi Sucipto<sup>c</sup>, Firdaus Retnaning Restu<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Kota Madiun 63162  
e-mail: aditama.ca@gmail.com, alfitranggono@pnm.ac.id, mekar@pnm.ac.id

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Majapahit Mojokerto, Kabupaten Mojokerto 61364  
e-mail: luth@unim.ac.id

<sup>c</sup>PT PLN Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkitan Barito, Kalimantan Selatan 70128  
e-mail: sabdonoabdi.s@gmail.com

<sup>d</sup>Unit Sistem *Engineering*, Departemen *Engineering*, Divisi Teknologi, PT INKA, Kota Madiun 63122  
e-mail: firdausa.rrestu@inka.co.id

### Kata kunci:

*reefer container*;  
simulasi *CFD*;  
kecepatan; tekanan;  
pelat pengarah

### ABSTRAK

Ikan sensitif terhadap temperatur penyimpanan. Temperatur di atas 2 °C dapat 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 karena perbedaan pendinginan sehingga dapat menurunkan kualitas ikan. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan pemerataan distribusi udara, kecepatan, dan tekanan di *reefer container* kereta api. Solusi untuk permasalahan tersebut adalah penambahan pelat pengarah di bagian *t-floor reefer container* kereta api. Metode yang digunakan yaitu analisis dan simulasi numerik *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 vektor kecepatan aliran udara (*velocity contour & pressure contour of the reefer container*) dan data kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata *reefer container* kereta api. Hasil penelitian menunjukkan data distribusi udara, kecepatan, dan tekanan yang merata adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°.

### Keyword:

*reefer container*;  
*CFD simulation*;  
*velocity*;  
*pressure*; *guide plate*

### ABSTRACT

Fishes are sensitive to storage temperature. Temperatures above 2 °C can accelerate bacterial growth and cause decay. The optimal temperature for storing frozen fish is -20 °C. *Reefer containers* with a closed cooling system function to preserve by maintaining the temperature of frozen fish. The problem of this research is the uneven distribution of cold air in the *reefer container* of the train due to differences in cooling which can reduce the quality of 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 the addition of a guide plate on the *t-floor* in the *reefer container*. This research method is through the analysis and simulation of *reefer containers* of the train fluids using *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. *Reefer containers* without guide plates are simulated to find out the areas of *reefer containers* of the train that are not evenly distributed. Equal distribution of air in *reefer containers* of the train is improved by adding guide plates with variations of angles of 40°, 50°, and 60°. This research produces vector data of airflow velocity (*velocity contour & pressure contour of the reefer container*) as well as data on the average velocity and average pressure of the *reefer container*. The results showed that the air distribution, velocity, and pressure data were evenly distributed in a *reefer container* of the train with a 40° guide plate.

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan produksi hasil tangkapan laut dari sektor kelautan dan perikanan di Indonesia terus digencarkan agar dapat bersaing dalam hal kuantitas dan kualitas. Menko Bidang Kemaritiman dan Investasi, Luhut B. Pandjaitan, memberi arahan terkait upaya yang harus dilakukan dalam rangka peningkatan produksi hasil produk perikanan dan kelautan dengan adanya infrastruktur pendukung [1]. Direktur Utama PT INKA, Budi Noviantoro, menjelaskan terjadi kesulitan pada transportasi berpendingin untuk pendistribusian hasil laut [2]. Transportasi berpendingin diperlukan untuk menjaga kualitas dan memperpanjang umur simpan muatan beku dan muatan yang mudah rusak selama pengangkutan. Masa hidup ikan beku cenderung pendek dan sensitif terhadap temperatur penyimpanan [3]. Proses penyimpanan atau pengawetan ikan yang tidak optimal dapat menyebabkan ikan menjadi cepat busuk, bau tidak sedap, dan berbahaya bagi kesehatan lingkungan [4].

Pendistribusian ikan menggunakan kapal dan truk masih kurang efisien karena biaya transportasi yang mahal dan waktu perjalanan sampai ke tujuan lama sehingga ikan dapat mengalami penurunan kualitas. Salah satu transportasi berpendingin yang digunakan untuk mengawetkan ikan dengan menjaga temperatur muatan adalah *reefer container* [5]. Saat ini, PT INKA sedang mengembangkan *reefer container* yang diaplikasikan pada kereta api dengan temperatur pengangkutan ikan [6]. Dengan demikian, waktu pendistribusian muatan menjadi lebih pendek dan ikan dapat terdistribusikan dengan cepat ke konsumen. Pada *reefer container*, temperatur dan distribusi udara berperan penting untuk proses pengawetan ikan beku. Temperatur yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan bakteri dan menyebabkan pembusukan, sedangkan temperatur yang rendah dapat menyebabkan ikan mengalami perubahan warna [7]. Temperatur berkaitan erat dengan kecepatan dan tekanan udara, sedangkan distribusi udara dipengaruhi oleh kecepatan udara yang melintas. Semakin besar kecepatannya, jumlah udara yang didistribusikan semakin besar [8].

Permasalahannya, pemerataan distribusi udara, kecepatan, dan tekanan di *reefer container* kereta api 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*. Berdasarkan penelitian terdahulu, *reefer container* menggunakan desain lantai *t-floor* untuk mendistribusikan udara dingin lebih baik dibandingkan dengan *reefer container* yang menggunakan lantai datar [9]. Akan tetapi, distribusi udara *reefer container* menggunakan desain lantai *t-floor* juga masih belum terdistribusi secara merata karena muatan di dekat refrigerator unit mendapatkan pendinginan sedikit dibandingkan dengan muatan yang jauh dari refrigerator unit [10].

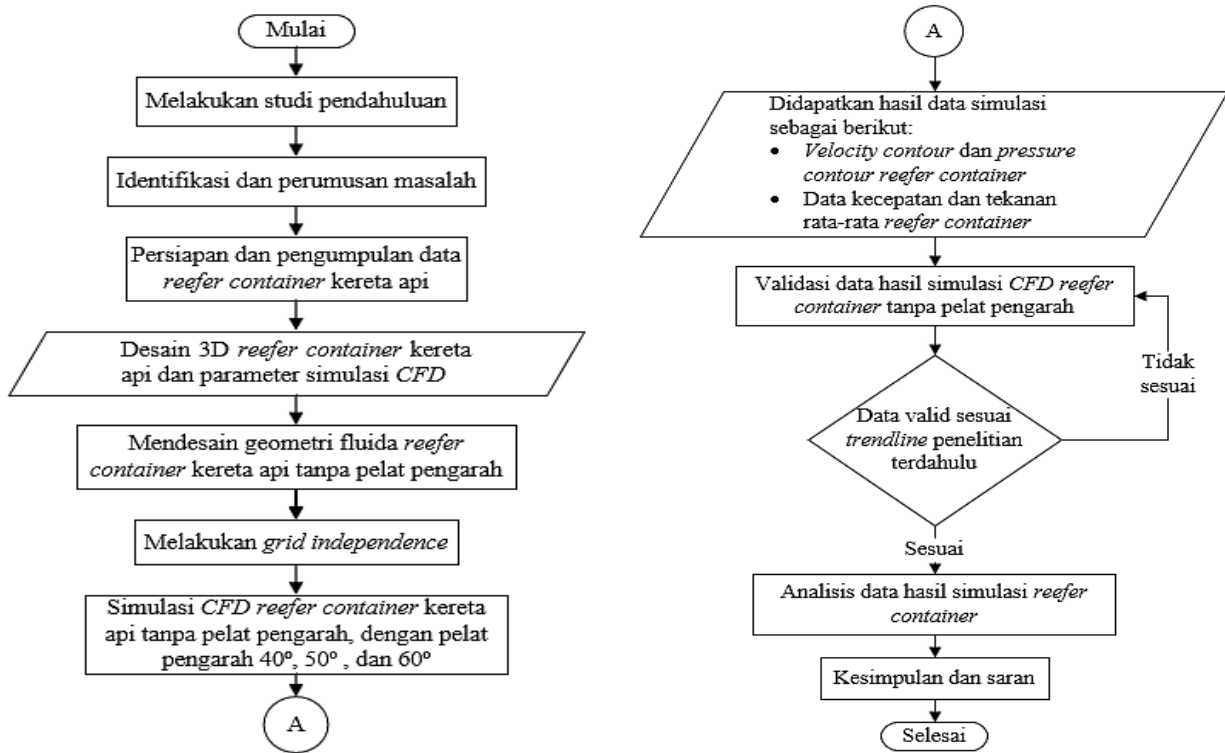
Pola aliran udara dan tata letak ruang berpendingin berpengaruh terhadap distribusi udara sehingga perlu diatur dengan menambahkan pelat pengarah untuk meningkatkan kinerja *reefer container*. Berdasarkan penelitian terdahulu, *cold storage* yang tidak terdistribusi secara merata ditambahkan pelat pengarah sebesar 40°, 50°, dan 60° untuk mengetahui sudut yang efektif dalam mengarahkan udara pendingin pada *cold storage*. Hasilnya, penambahan pelat pengarah tersebut dapat meratakan distribusi udara efektif dengan variasi sudut 60° [4]. 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* kereta api dengan variasi sudut 40°, 50°, dan 60°. Penentuan variasi sudut pelat pengarah mengacu pada penelitian terdahulu [4]. *Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan simulasi komputer yang digunakan pada penelitian ini untuk menganalisis aliran fluida *reefer container* kereta api [11].

## 2. METODE PENELITIAN

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

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 1. Diagram alir penelitian

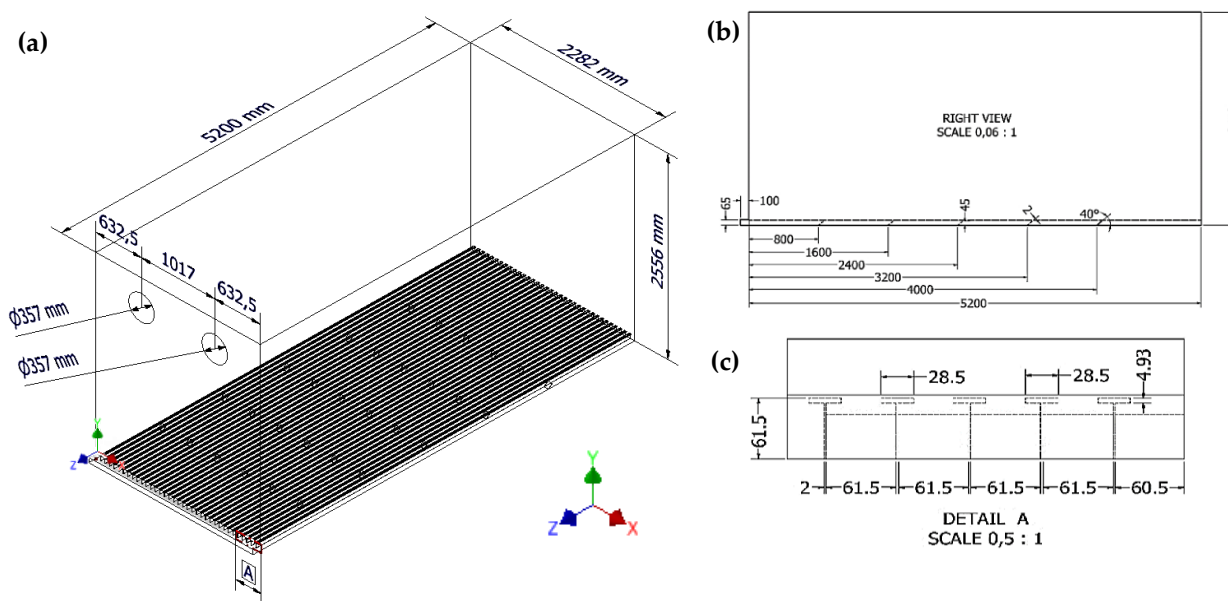
Berdasarkan Gambar 1, penelitian ini diawali dengan studi pendahuluan melalui wawancara langsung dengan pihak PT INKA. Langkah selanjutnya yaitu identifikasi masalah dan perumusan masalah melalui observasi, studi literatur, dan studi lapangan untuk memperoleh informasi berupa data yang dibutuhkan untuk perencanaan penelitian, seperti desain 3D *reefer container* kereta api beserta dimensinya, parameter-parameter yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi, validasi data, dan lain-lain. Data penelitian didapatkan dari PT INKA, penelitian sebelumnya, dan teori penunjang yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Proses selanjutnya mendesain geometri fluida *reefer container* kereta api dan melakukan simulasi *CFD reefer container* kereta api menggunakan *software Ansys Fluent 2021 R2* di *PC (personal computer)* PT INKA Madiun. Hasil simulasi *reefer container* tanpa pelat pengarah dianalisis untuk mengetahui area yang belum terdistribusi secara merata. Langkah selanjutnya yaitu menyelesaikan permasalahan dengan penambahan pelat pengarah menggunakan tiga variasi sudut untuk meningkatkan area yang belum terdistribusi secara merata. Selanjutnya, *reefer container* kereta api dianalisis dan divalidasi untuk menentukan sudut pelat pengarah yang efektif untuk meningkatkan distribusi udara *reefer container* kereta api. Penelitian ini diakhiri dengan penarikan kesimpulan untuk menjawab permasalahan pada penelitian yang dilakukan.

## 2.2 Simulasi CFD Reefer Container Kereta Api

Proses simulasi *CFD* terdiri atas lima tahapan, yaitu pembuatan geometri, *meshing*, *setup*, *solution*, dan *result*.

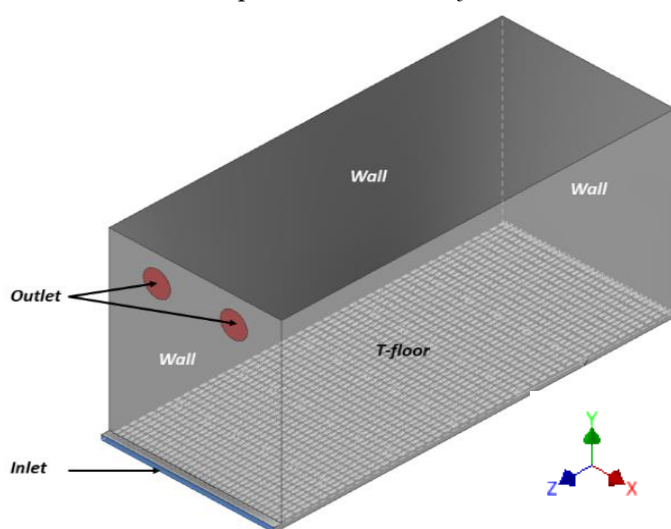
### 2.2.1 Geometri

Pembuatan geometri bertujuan mendeskripsikan bentuk atau ruang masalah yang disimulasikan dan dianalisis sesuai kondisi nyata objek *reefer container* pada kereta api [12]. Selain itu, 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. Tahap selanjutnya pada geometri fluida adalah *create name selection* untuk memberikan penamaan *boundary conditions* atau kondisi batas seperti pada Gambar 3.



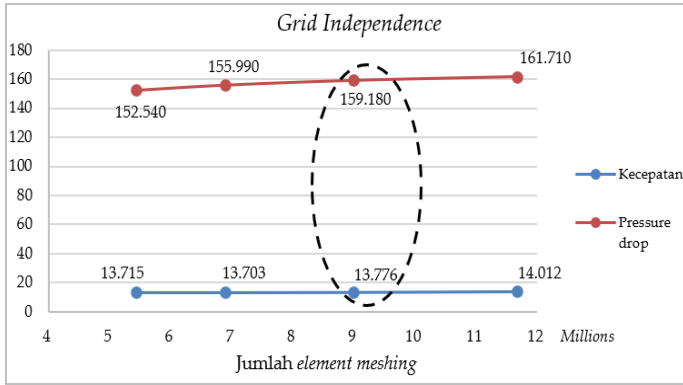
Gambar 3. Boundary condition reefer container

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.

### 2.2.2 Meshing

*Meshing* merupakan 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*, proses simulasi numerik semakin berat dan lama sehingga file yang dihasilkan semakin besar [13].

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* [14]. *Grid independence* dilakukan pada geometri fluida *reefer container* kereta api tanpa pelat pengarah. *Grid independence* diawali menggunakan pengaturan *meshing* secara *default*. Selanjutnya, ukuran *meshing* diatur dengan meningkatkan ukuran *target mesh*, *minimum size*, dan *maximum mesh*. Hasil *grid independence* disajikan pada Gambar 4, sedangkan jumlah *elements meshing* disajikan pada Tabel 1.



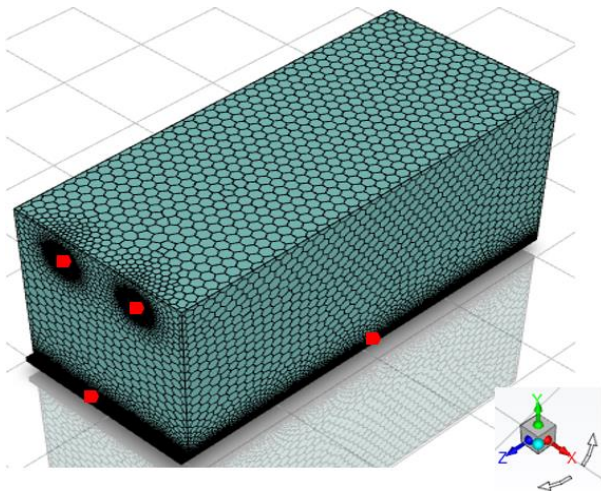
Gambar 4. Grid independensi

Tabel 1. Jumlah elements meshing

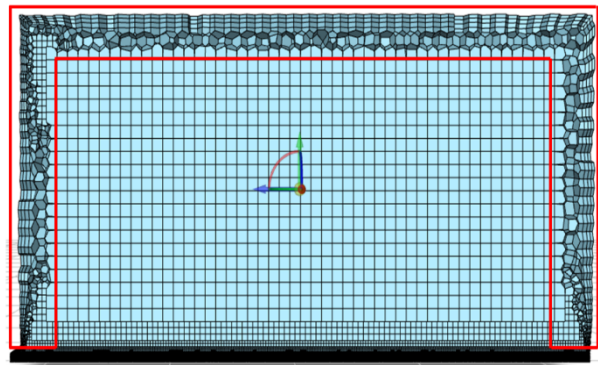
No.	Nama	Jumlah elements meshing
1.	Reefer container kereta api tanpa pelat	8.992.935
2.	Reefer container kereta api dengan pengarah 40°	9.086.937
3.	Reefer container kereta api dengan pengarah 50°	9.082.398
4.	Reefer container kereta api dengan pengarah 60°	9.087.117

Berdasarkan Gambar 4, titik optimum *grid independence* yang efektif digunakan untuk proses simulasi *reefer container* kereta api ditandai dengan garis warna hitam putus-putus yaitu dengan ukuran *target mesh & minimum size* 0,006 m dan *maximum size* 0,14 m. Berdasarkan Tabel 1, *reefer container* kereta api dengan tambahan pelat pengarah memiliki jumlah *element meshing* yang lebih banyak dibandingkan dengan *reefer container* kereta api tanpa pelat pengarah. Hal ini disebabkan oleh penambahan pelat pengarah yang di *meshing* sehingga menambah jumlah *elements meshing*. Selain itu, besar sudut pelat pengarah yang digunakan juga mempengaruhi jumlah *elements meshing*.

Bentuk *meshing* yang digunakan untuk simulasi *reefer container* kereta api adalah *poly-hexcore* yang merupakan bentuk *meshing hybrid* dengan menggabungkan dua bentuk *elements* yaitu *polyhedron* dan *hexahedron*.



Gambar 5. Hasil *meshing* reefer container kereta api pada tampilan *isometric*



Gambar 6. Hasil *Meshing* pada *XZ Plane*

Berdasarkan Gambar 5, tampak hasil *meshing* pada area luar *reefer container* menggunakan *polyhedron*. Area yang berwarna gelap (ditandai dengan warna merah) adalah area *inlet*, *outlet*, *t-floor*, dan pelat pengarah. Area tersebut mendefinisikan bahwa ukuran *meshing* lebih kecil dibandingkan dengan area yang lainnya dengan tujuan mendetailkan fenomena yang terjadi di area tersebut.

Berdasarkan Gambar 6, area yang dikelilingi garis berwarna merah merupakan dinding *reefer container* dengan penambahan *layers* pada *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* [12].

### 2.2.3 Setup

Proses *setup* mendefinisikan bahwa adanya keterlibatan fenomena fisika dalam prosesnya. Setiap mengaktifkan salah satu *models*, persamaan *governing equation* akan berubah atau bertambah sehingga mempengaruhi hasil simulasi [12]. Pengaturan *setup* yang digunakan pada simulasi *reefer container* kereta api sebagai berikut.

- Velocity inlet* yang digunakan 14,7 m/s dengan *operating pressure* 101325 Pa dalam kondisi *steady* dengan material udara.
- Model turbulen yang digunakan yaitu *SST k-omega* karena memberikan prediksi pemisahan aliran yang lebih akurat dari model *RANS* lainnya [15]. *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* [16].

### 2.2.4 Solution

Pemilihan *models* yang telah diinputkan pada *setup* memengaruhi metode perhitungan. Apabila pemilihan *models* tepat, perhitungan yang didapatkan memiliki nilai yang konvergen [17]. Pengaturan *solution* yang digunakan pada simulasi *reefer container* kereta api sebagai berikut.

- Penggunaan metode *pressure-based coupled* bertujuan memperoleh implementasi fase tunggal yang lebih kuat dan efisien pada aliran *steady state* karena memecahkan persamaan kontinuitas berbasis momentum dan tekanan bersama-sama [15]. Simulasi ini juga menggunakan *second order upwind* dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dan akurat untuk aliran yang kompleks [18].
- Penggunaan *hybrid initialization* bertujuan memberikan kecepatan awal dan medan tekanan yang lebih baik dari pada *standard initialization*. Penggunaan *hybrid initialization* juga dapat mempercepat simulasi menjadi konvergen [15].

### 2.2.5 Result

Hasil yang didapatkan pada simulasi *CFD* adalah data *velocity* dan *pressure contour* yang ditampilkan dengan pola warna tertentu bahwa setiap warna memiliki nilai tersendiri. Selain itu, juga didapatkan data kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata pada suatu area tertentu dalam bentuk tabel.

## 2.3 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* [19]. *Reynolds number* adalah bilangan tak berdimensi untuk mengidentifikasi jenis aliran fluida.

Persamaan 1 merupakan rumus bilangan *Reynolds number* [20].

$$Re = \frac{H_d \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{4 \cdot A \cdot v \cdot \rho}{P_w \cdot \mu} \quad (1)$$

Re merupakan *Reynold number*, A adalah luas area (m<sup>2</sup>), P<sub>w</sub> adalah *wetted perimeter* (m), v adalah kecepatan fluida (m/s),  $\mu$  adalah viskositas absolut fluida (Pa. s), dan  $\rho$  adalah massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>).

Gaya viskos melawan gerakan sebagian fluida relatif terhadap yang lain [21]. Semakin besar viskositas suatu fluida, pergerakan dan aliran fluida semakin sulit. Viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul udara. Viskositas berkaitan dengan tekanan, semakin tinggi tekanan, viskositas suatu fluida semakin besar [22].

Penurunan tekanan disebabkan oleh gaya gesek, gaya gravitasi, belokan, dan perubahan kecepatan [23]. 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* [24]. 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 [25].

Data yang dianalisis pada penelitian ini adalah data *velocity and pressure contour of the reefer container* serta kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata *reefer container*. *Velocity and pressure contour reefer* digunakan untuk memperjelas pergerakan aliran dan distribusi udara pada kereta api. Data ini diambil menggunakan *plane* pada bidang YZ dengan jarak 475 mm dari titik sumbu *reefer container*, sedangkan data kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata 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.

**2.4 Validasi Data Hasil Simulasi**

Validasi merupakan proses pembuktian kebenaran terhadap hasil simulasi. Untuk mendapatkan hasil simulasi *CFD* yang valid dan layak, diperlukan data pembandingan sebagai acuan [17]. Penelitian terdahulu yang relevan bertujuan membandingkan pengaruh desain terhadap aliran udara di dua jenis *reefer* dengan desain lantai yang berbeda yaitu lantai datar dan *t-floor* menggunakan simulasi *CFD* [25]. Pada penelitian terdahulu dilakukan 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. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *reefer* dengan *t-floor* meningkatkan pergerakan udara vertikal yang seragam dibandingkan *reefer* dengan lantai datar [25]. Selanjutnya, hasil penelitian terdahulu juga dijadikan data validasi penelitian *reefer container* pada kereta api ini. Data validasi yang digunakan adalah *trendline velocity magnitude*. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dimensi *reefer*, parameter, dan *tools* pada *software* simulasi *CFD* yang sudah *update*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

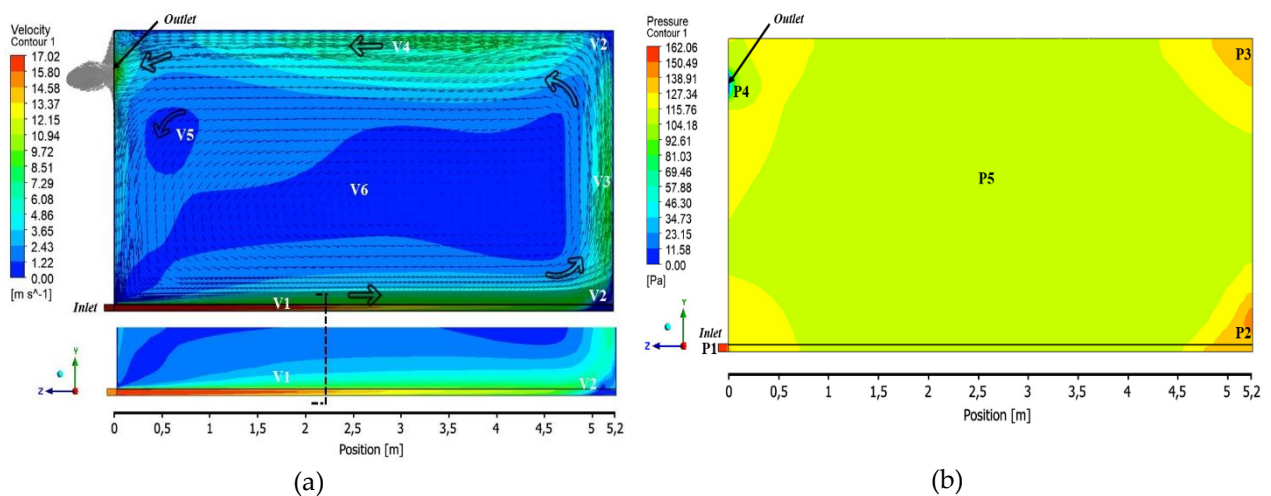
$$Re = \frac{4 \cdot A}{P_w} \cdot v \cdot \rho = \frac{4 \times 3.479 \times 10^{-6} m^2}{180,64 \times 10^{-6} m} \cdot 14,7 \frac{m}{s} \cdot 1,225 \frac{kg}{m^3} = 76.643.502,65$$

$\mu$   $0,0000181 Pa.s$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa aliran pergerakan fluida *reefer container* kereta api termasuk dalam aliran turbulen [26].

**3.1 Reefer Container Tanpa Pelat Pengarah**

Kecepatan dan tekanan udara *reefer container* kereta api tanpa pelat pengarah ditunjukkan pada Gambar 7.

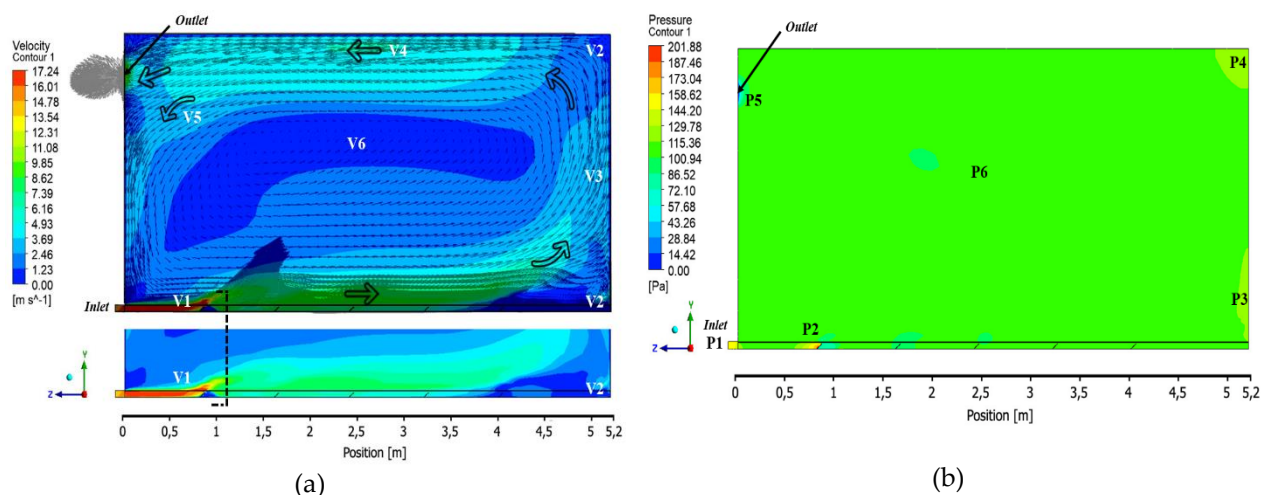


Gambar 7. *Reefer container* tanpa pelat pengarah (a) *velocity contour* (b) *pressure contour*

Berdasarkan Gambar 7, 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 [25]. Asas Bernoulli menyatakan semakin besar kecepatan fluida di ruang tertutup, tekanan yang dihasilkan semakin kecil [27]. Kecepatan V2 rendah dan tekanan P2 & P3 tinggi karena terjadi viskositas (tumbukan antarpartikel udara). Semakin besar viskositas, tekanan yang dihasilkan semakin tinggi [22]. Udara mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah [12] sehingga udara keluar menuju *outlet* (P4) karena terjadi perbedaan tekanan.

### 3.2 Reefer Container dengan Pelat Pengarah 40°

Kecepatan dan tekanan udara *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40° ditunjukkan pada Gambar 8.



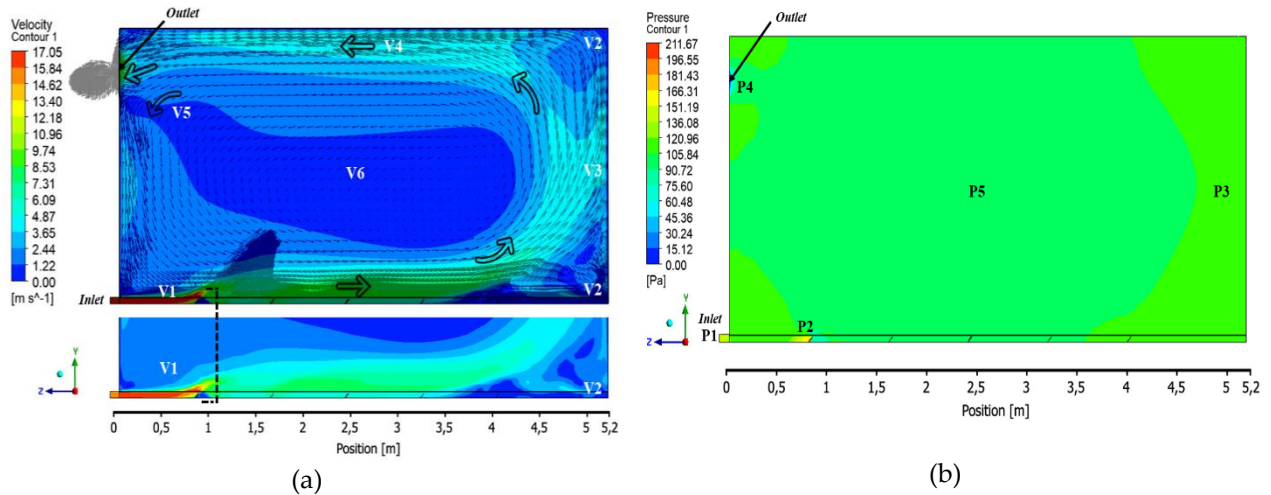
Gambar 8. Reefer container dengan pelat pengarah 40° (a) *velocity contour* (b) *pressure contour*

Berdasarkan Gambar 8, 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 *tengah reefer container* (V6). Pelat pengarah menyebabkan tekanan P2 tinggi karena terjadi gesekan antar pelat pengarah dan udara sehingga terjadi tumbukan antar vektor [22]. 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 yang mengalir dan menyebabkan tumbukan antarvektor. Udara keluar menuju *outlet* karena perbedaan tekanan (P5), tetapi sebagian udara bersirkulasi di dalam *reefer container* [25].

### 3.3 Reefer Container dengan Pelat Pengarah 50°

Kecepatan dan tekanan udara *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 50° ditunjukkan pada Gambar 9.



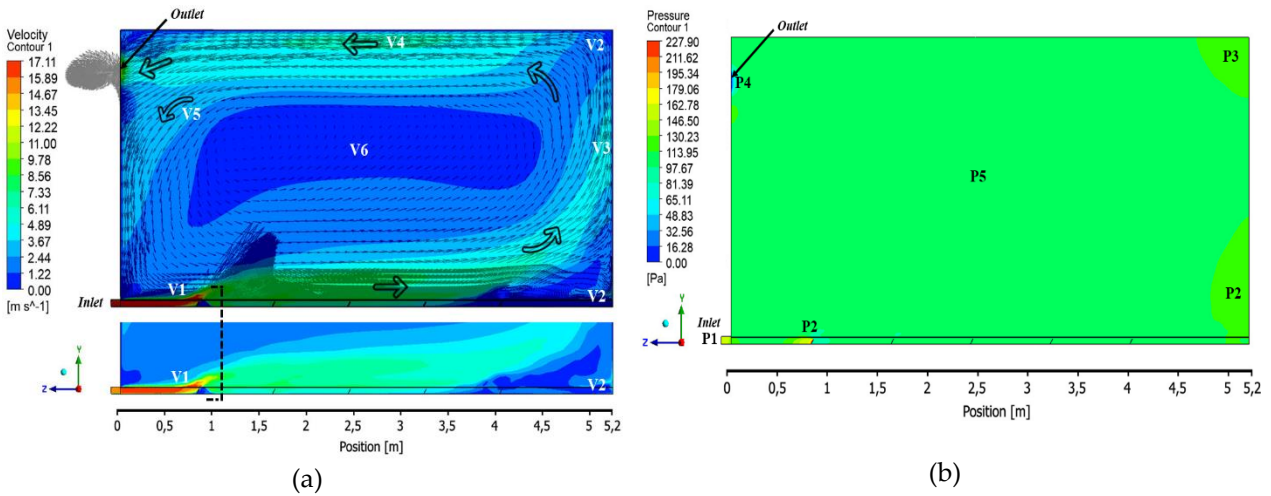


Gambar 9. Reefer container dengan pelat pengarah 50° (a) velocity contour (b) pressure contour

Berdasarkan 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°.

### 3.4 Reefer Container dengan Pelat Pengarah 60°

Kecepatan dan tekanan udara reefer container kereta api dengan pelat pengarah 60° ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Reefer container dengan pelat pengarah 60° (a) velocity contour (b) pressure contour

Berdasarkan Gambar 10, 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°.

### 3.5 Analisis Data Hasil Simulasi CFD

Pengambilan data kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata pada reefer container kereta api menggunakan plane tertentu. Jarak plane diukur dari titik sumbu reefer container. Posisi plane pengukuran kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata ditampilkan pada pada Tabel 2.

Tabel 2. 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 rata-rata dan tekanan rata-rata *reefer container* di XY *plane* ditampilkan pada

Tabel 3.

Tabel 3. Kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata pada XY *plane*

Nama	Kecepatan (m/s)					Tekanan (Pa)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	2,272	2,446	2,443	2,339	4,267	113,329	111,327	110,863	111,686	120,179
Pelat pengarah 40°	2,549	2,686	2,696	2,686	2,609	103,752	101,595	101,788	105,167	112,432
Pelat pengarah 50°	2,581	2,668	2,661	2,678	2,874	102,441	100,868	101,025	103,599	112,120
Pelat pengarah 60°	2,638	2,764	2,724	2,702	2,655	103,618	101,448	101,874	105,239	113,446

Berdasarkan

Tabel 3, selisih nilai kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata tertinggi dan terendah paling kecil pada masing-masing XY *plane* adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah 40°. Kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata *reefer container* di bidang YZ dibagi menjadi 5 *plane* yang ditampilkan pada Tabel 4.

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

Nama	Kecepatan (m/s)					Tekanan (Pa)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	2,660	2,462	2,721	2,747	2,312	113,132	113,152	113,005	112,837	113,295
Pelat pengarah 40°	2,760	2,629	2,559	2,784	2,704	104,636	104,617	104,615	104,566	104,930
Pelat pengarah 50°	2,483	2,606	2,973	2,902	2,986	103,541	103,534	103,640	103,650	103,954
Pelat pengarah 60°	2,754	2,634	2,739	2,818	3,102	104,718	104,616	104,531	104,645	105,031

Berdasarkan Tabel 4, 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 rata-rata dan tekanan rata-rata *reefer container* di bidang XZ dibagi menjadi 5 *plane* yang ditampilkan pada Tabel 5.

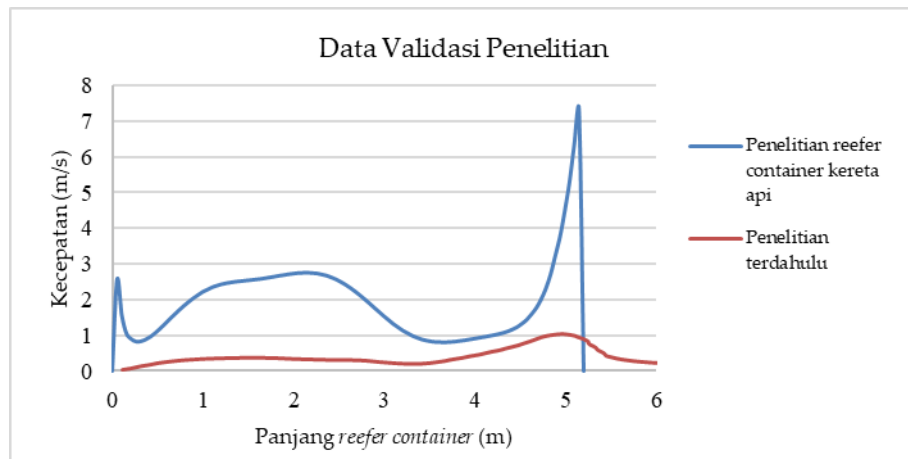
Tabel 5. Kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata pada XZ *plane*

Nama	Kecepatan (m/s)					Tekanan (Pa)				
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4	Plane 5
Tanpa pelat	1,817	1,288	1,640	2,813	4,176	112,970	112,057	112,295	112,843	115,200
Pelat pengarah 40°	2,236	1,662	1,605	3,115	3,747	104,748	103,483	103,582	105,037	106,366
Pelat pengarah 50°	2,433	1,520	1,598	3,092	3,927	103,814	102,299	102,423	104,033	105,623
Pelat pengarah 60°	2,478	1,666	1,667	3,203	3,906	104,905	103,488	103,538	105,005	106,590

Berdasarkan Tabel 5, 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  $40^\circ$ . Dapat disimpulkan bahwa *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. Berdasarkan Tabel 3, 4, dan 5, selisih kecepatan rata-rata dan tekanan rata-rata pada rendah adalah *reefer container* kereta api dengan pelat pengarah  $40^\circ$ .

### 3.6 Validasi Data Hasil Simulasi CFD

Hasil simulasi *reefer container* kereta api divalidasi berdasarkan penelitian terdahulu [25]. 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 validasi penelitian terdahulu dengan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik data validasi penelitian

Berdasarkan Gambar 11, dapat diamati bahwa *trendline* kecepatan pada penelitian terdahulu dengan penelitian *reefer container* kereta api mirip. Faktor penyebab *trendline* kecepatan tersebut tidak sama persis di antaranya tipe *meshing*, ukuran *meshing*, *solution methods*, *velocity magnitude*, spesifikasi komputer, dan lain-lain.

Pada penelitian ini, pada jarak 0 m memiliki kecepatan tinggi karena area *inlet*. Kecepatan naik secara drastis pada jarak  $\pm 5$  meter pada kedua *reefer* karena udara bergerak dari tekanan yang tinggi ke tekanan yang rendah sehingga udara dari *inlet* secara bersamaan mengarah ke atas (vertikal) pada jarak  $\pm 5$  meter. Fenomena ini menyebabkan kecepatan yang dihasilkan tinggi karena terjadi viskositas. Selanjutnya pada penelitian ini, kecepatan yang dihasilkan menurun secara drastis hingga 0 m/s karena area tersebut merupakan dinding *reefer container*, sedangkan pada penelitian terdahulu kecepatan menurun, tetapi masih terus berjalan dikarenakan panjang *reefer* pada penelitian terdahulu yaitu 11,56 m. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data yang dihasilkan pada penelitian ini valid berdasarkan validasi kecepatan terhadap panjang *reefer container* karena [25].

## 4. KESIMPULAN

Pergerakan aliran udara pada *reefer container* kereta api adalah turbulen karena *reynold number* yang dihasilkan sebesar 76.643.501,65. 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 rata-rata 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  $40^\circ$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Komunikasi, "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/>, 10 September 2021. <https://maritim.go.id/kejar-produksi-sektor-kelautan-perikanan-reefer-container-karya/>
- [2] PT INKA, "PT INKA-Kemenko Marves Kembangkan Peti Kemas Ikan Laut," 24 September 2021. <https://www.inka.co.id/berita/856>
- [3] A. Kan, J. Hu, Z. Guo, C. Meng, dan C. Chao, "Impact of Cargo Stacking Modes on Temperature Distribution Inside Marine Reefer Containers," *Int. J. Air-Cond. Ref.*, vol. 25, no. 03, hlm. 1750020, Sep 2017, doi: 10.1142/S2010132517500201.
- [4] Supiyanto, I. Qiram, dan G. Rubiono, "Pengaruh Pelat Pengarah (*Baffle*) Terhadap Distribusi Temperatur *Cold Storage* Skala Kecil," *Jurnal V-Mac*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [5] T. Brosnan dan D.-W. Sun, "Precooling Techniques and Applications for Horticultural Products: A Review," *International Journal of Refrigeration*, hlm. 17, 2001.
- [6] F. R. Restu, "Interview of Reefer Container PT INKA Madiun," Oktober 2021.
- [7] A. Kan, J. Hu, Z. Guo, C. Meng, dan C. Chao, "Impact of Cargo Stacking Modes on Temperature Distribution Inside Marine Reefer Containers," *Int. J. Air-Cond. Ref.*, vol. 25, no. 03, hlm. 1750020, Sep 2017, doi: 10.1142/S2010132517500201.
- [8] F. G. U. Dewi, "Pengaruh Kecepatan dan Arah Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara dalam Ruang pada Sistem Ventilasi Alamiah," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 2, hlm. 299–304, 2012.
- [9] M. A. Budiyanto dan N. Suheriyanto, "Study on The Inlet Air Velocity on The Refrigerated Container; Comparison Between Flat Floor And T-Bar Floor," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, hlm. 012063, Feb 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1034/1/012063.
- [10] M. Qusyairi, "Analisa Modifikasi Sirkulasi Aliran Udara Pendingin di dalam *Cold Storage*," Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [11] E. Supriyanto, "Simulasi Distribusi Temperatur Ruang Ber AC pada Berbagai Variasi Temperatur Disekitar Evaporator," Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [12] D. Erlambang, "Physic Setup." PT Optimaxx Prima Teknik, 2021.
- [13] A. B. Prasetyo, A. A. Azmi, dan D. S. Pamuji, "Pengaruh Perbedaan *Mesh* Terstruktur dan *Mesh* tidak Terstruktur pada Simulasi Sistem Pendinginan *Mold* Injeksi Produk Plastik," Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII, hlm. 400–406, 2018.
- [14] M. A. Pradana, "Studi *Sloshing* Tangki LNG dengan Metode Eksperimen dan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*," Program Studi Teknologi Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019.
- [15] Ansys, Inc, *Ansys Fluent Theory Guide*. 2013.
- [16] F. R. Menter, "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications," *AIAA Journal*, vol. 32, no. 8, hlm. 1598–1605, Agu 1994, doi: 10.2514/3.12149.
- [17] I. W. Yudhatama dan M. I. P. Hidayat, "Simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* Erosi Partikel Pasir dalam Aliran Fluida Gas Turbulen pada *Elbow* Pipa Vertikal – Horizontal," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 2, hlm. 6, 2018.
- [18] Ansys, Inc, *Ansys Fluent 12.0 User's Guide*. 2012.
- [19] C. Hirsch, "Numerical Computation of Internal External Flows, the Fundamental of Computational Fluid Dynamics," John Wiley Sons, 2007.
- [20] C. Hirsch, *Numerical Computation of Internal External Flows, the Fundamental of Computational Fluid Dynamics*, Second. USA: John Wiley Sons, 2007.
- [21] M. S. Effendi dan R. Adawiyah, "Penurunan Nilai Kekentalan Akibat Pengaruh Kenaikan Temperatur pada Beberapa Merek Minyak Pelumas," *Jurnal INTEKNA*, no. 1, hlm. 1–101, 2014.

- [22] P. Lumbantoruan dan E. Yulianti, "Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli)," *Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (Sainmatika)*, vol. 13, no. 2, hlm. 26–34, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.31851/sainmatika.v13i2.993>.
- [23] S. Sarjito, S. Subroto, dan A. Kurniawan, "Studi Distribusi Tekanan Aliran Melalui Pengecilan Saluran Secara Mendadak dengan Belokan pada Penampang Segi Empat," *mesin*, vol. 17, no. 1, hlm. 8–22, Feb 2017, doi: 10.23917/mesin.v17i1.3302.
- [24] Z. Zainudin, I. M. Adi Sayoga, dan M. Nuarsa, "Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap *Head Losses* Aliran Pipa," *DTM*, vol. 2, no. 2, Jul 2012, doi: 10.29303/d.v2i2.97.
- [25] S. Getahun, A. Ambaw, M. Delele, C. J. Meyer, dan U. L. Opara, "Experimental and Numerical Investigation of Airflow Inside Refrigerated Shipping Containers," *Food Bioprocess Technol*, vol. 11, no. 6, hlm. 1164–1176, Jun 2018, doi: 10.1007/s11947-018-2086-5.
- [26] H. F. P. Simanjuntak, P. Manik, dan A. W. B. Santosa, "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*, vol. 5, no. 1, hlm. 8, 2017.
- [27] A. D. Sultan, R. Rizky, H. Hidayat, S. Mulyani, dan W. A. Yusuf, "Analysis of the Effect of Cross-sectional Area on Water Flow Velocity by Using Venturimeter Tubes," *JPF*, vol. 8, no. 1, hlm. 94–99, Jan 2020, doi: 10.26618/jpf.v8i1.3199.