



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA  
KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN METODE  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

ABYAN HILMY YAFI  
NRP. 023164000053

Dosen Pembimbing:  
Ir. Roekmono M.T.

Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA  
KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN METODE  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

**ABYAN HILMY YAFI  
NRP. 023164000053**

Dosen Pembimbing:  
Ir. Roekmono M.T.

Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 181801**

***ENERGY ANALYSIS OF AIR CONDITIONING SYSTEM ON  
JABODETABEK COMMUTER LINE TRAIN USING  
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICs***

ABYAN HILMY YAFI  
NRP. 02311640000053

Supervisors:  
Ir Roeknomo M.T.

*Department Of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Abyan Hilmy Yafi  
NRP : 02311640000053  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "***ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUIDS DYNAMIC***" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 27 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Abyan Hilmy Yafi

NRP. 02311640000053

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA  
KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN METODE  
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

**Oleh:**

**Abyan Hilmy Yafi**

**NRP. 0231164000053**

**Surabaya,**

**Menyetujui,  
Pembimbing I**



**Ir. Roekmono M.T. 1**

**NIP. 19580908 198601 1 001**

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen  
Teknik Fisika FT-IRS ITS**



**Dr. Suyanto S.T., M.T.**

**NIP. 19711113199512 1 002**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

#### TUGAS AKHIR


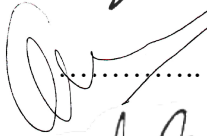

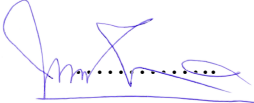
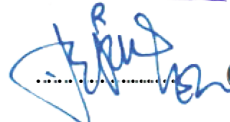
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ABYAN HILMY YAFI**

**NRP. 0231164000053**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Roekmono M.T .  ..... (Pembimbing I)
2. Gunawan ST, MT, PhD  ..... (Ketua Penguji)
3. Dr. Ridho Hantoro ST, MT,  ..... (Penguji I)
4. Ir. Harsono Hadi MT, PhD.  ..... (Penguji II)
5. Erna Septyaningrum ST, MT,  ..... (Penguji III)

**SURABAYA**

**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA  
PADA KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK  
DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

**Nama** : Abyan Hilmy Yafi  
**NRP** : 0231164000053  
**Departemen** : Teknik Fisika FT-IRS ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Roekmono MT

**ABSTRAK**

Transportasi umum saat ini berperan vital dalam mengurangi kemacetan. Salah satu transportasi umum yang digemari masyarakat saat ini adalah kereta commuter line jabodetabek. Aspek kenyamanan termal perlu diperhatikan dalam perancangannya. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui aspek kenyamanan termal adalah dengan menghitung *cooling load* untuk memperkirakan kapasitas AC yang digunakan. Adapun beberapa factor yang digunakan untuk menghitung cooling load yaitu temperature udara ruangan dan luar ruangan, kelembaban udara, kecepatan udara masukan. Dalam melakukan penelitian digunakan metode *computational fluid dynamic* untuk mengetahui sebaran temperatur dan metode *cooling load temperature difference* untuk menghitung beban pendingin yang ada di dalam kereta. Pengukuran juga dilakukan di dalam kereta untuk mengetahui temperature dan kelembaban actual. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa *cooling load* dari tiap gerbong yaitu 59916,03 kcal/hr untuk kondisi penumpang penuh dan 34094,985 kcal/hr untuk kondisi penumpang hanya mengisi tempat duduk saja. Dari hasil simulasi didapat nilai rata rata temperature udara variasi penumpang mengisi tempat duduk dengan suhu masukan inlet 26° C adalah sebesar 27°C sedangkan untuk variasi penumpang penuh dengan suhu masukan sebesar 23° C didapatkan rata rata temperature udara sebesar 23,4°C. Dari hasil tersebut diketahui bahwa kapasitas AC yang ada (42500 kcal/h) tidak cukup untuk menahan beban ketika kondisi kereta dalam keadaan penuh

**Kata Kunci: Kenyamanan Termal, Cooling Load, CFD**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***ENERGY ANALYSIS OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN  
JABODETABEK COMMUTER LINE WITH COMPUTATIONAL  
FLUID DYNAMIC METHOD***

***Name*** : Abyan Hilmy Yafi  
***NRP*** : 023164000053  
***Department*** : Engineering Physics FT-IRS ITS  
***Supervisors*** : Ir Roekmono MT.

**ABSTRACT**

Public transportation currently plays a vital role in reducing congestion. One of the most popular public transportation nowadays is the Jabodetabek commuter line train. The thermal comfort aspect needs to be considered in its design. One method used to determine the aspect of thermal comfort is to calculate the cooling load to estimate the capacity of the air conditioner used. The several factors used to calculate cooling load are indoor and outdoor air temperatures, humidity, input air velocity. In conducting research, the author uses the computational fluid dynamic method to determine the temperature distribution and the cooling load temperature difference method to calculate the cooling load in the train. Measurements were also carried out inside the train to determine the actual temperature and humidity. Based on research that has been done, it is found that the cooling load of each car is 59916.03 kcal / hr for full passenger conditions and 34094,985 kcal / hr for passenger conditions only filling the seats. From the simulation results obtained an average value of air temperature variations of passengers filled the seat is 27°C while for full passenger variations obtained an average air temperature of 23,4°C. From these results it is known that the existing AC capacity (42500 kcal / h) is not enough to hold the load when the train is in full condition

***Keywords: Cooling Load, Thermal comfort, CFD***





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmah-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISA ENERGI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*”**

Tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Almarhum ayah saya Edy Saptono yang telah memberikan dukungan semasa hidupnya terhadap proses kuliah saya
2. Ibu saya Setya Arini dan adik saya Salma yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir
3. Bapak Ir Roekmono MT., selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir ini, yang telah membimbing serta memberikan motivasi
4. Bapak Dr. Syamsul Arifin ST., MT., selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat dan motivasi selama proses kuliah
5. Bapak Dr Gunawan Nugroho, ST., MT., selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS
6. Bapak Suyanto ST MT selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS
7. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika
8. Teman-teman asisten Lab laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS yang memberikan bantuan
9. Teman-teman TAWan dan F51 yang sangat membantu dalam memberikan motivasi

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas

akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 19 Juni 2020

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE .....	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	vi
LEMBAR PENGESAHAN.....	viii
LEMBAR PENGESAHAN.....	x
ABSTRAK .....	xii
ABSTRACT .....	xv
KATA PENGANTAR .....	xviii
DAFTAR ISI .....	xxi
DAFTAR GAMBAR .....	xxiii
DAFTAR TABEL .....	xxiv
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan .....	3
BAB II.....	5
2.1 Siklus Refrigerasi .....	5
2.2 Bebdan Pendinginan ( <i>Cooling Load</i> ) .....	8
2.3 Perhitungan Beban Pendingin .....	8
2.4 Konsep Dasar Pengkodisian Ruangan .....	10
2.5 Perhitungan Besarnya Kalor yang Hilang dan Diperoleh.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14

3.1	Alur Penelitian.....	14
3.2	Objek Penelitian .....	15
3.3	Perhitungan Beban Pendingin .....	18
3.4	Simulasi CFD .....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		26
4.1	Perhitungan beban pendinginan pada kereta <i>commuter line</i> .....	26
4.2	Analisa Kenyamanan Termal terhadap Variasi Jumlah Penumpang dan Variasi Temperatur dengan Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) ..	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		36
5.1	Kesimpulan.....	36
DAFTAR PUSTAKA .....		38
LAMPIRAN .....		40
BIODATA PENULIS .....		42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus refrigerasi ideal (Pamuk & Savas, 2017).....	5
Gambar 3. 1 Alur Penelitian Tugas Akhir .....	14
Gambar 3. 2 Penampakan gerbong kereta commuter line. ....	15
Gambar 3. 3 Letak titik pengukuran dalam gerbong kereta. ....	16
Gambar 3. 4 Kondisi gerbong pada saat dilakukan pengambilan data pada tanggal 29 januari 2020. ....	17
Gambar 3. 5 psikometrik chart pengukuran actual. Warna kuning menunjukkan kondisi dalam ruang gerbong. Warna coklat menunjukkan kondisi luar gerbong	18
Gambar 3. 6 Geometri gerbong KCL tanpa penumpang. ....	20
Gambar 3. 7 Geometri gerbong KCL dengan penumpang duduk di kursi. ....	20
Gambar 3. 8 Geometri gerbong KRL dengan simulasi penumpang penuh .....	21
Gambar 3. 9 Hasil meshing pada gerbong KRL dengan kondisi ada penumpang.	21
Gambar 3. 10 parameter nilai skewness.....	22
Gambar 3. 11 visualisasi menggunakan fitur <i>plane</i> bidang XZ.....	23
Gambar 4. 1 Sumber panas sensibel dan panas laten dari penumpang.....	28
Gambar 4. 2 Kontur distribusi temperatur ruangan gerbong tanpa penumpang. ..	31
Gambar 4. 3 Kontur distribusi temperatur ruangan gerbong dengan penumpang duduk dengan temperatur inlet sebesar 26°C. ....	32
Gambar 4. 4 Kontur distribusi temperatur ruangan gerbong kondisi penumpang hampir penuh sehingga banyak penumpang yang berdiri dan penumpang duduk dengan temperatur masukan inlet sebesar 23°C. ....	33
Gambar 4. 5 Kontur distribusi kecepatan udara pada ruangan gerbong dengan segala kondisi. ....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data temperature actual dan kelembaban .....	17
Tabel 3. 2 Ukuran kereta KRL. ....	19
Tabel 3. 3 Detail mesh. ....	21
Tabel 3. 4 Kondisi Batas yang dimasukkan pada CFD.....	22
Tabel 3. 5 Penentuan parameter simulasi tahap <i>solver</i> .....	23
Tabel 4. 1 beban panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari melalui kaca .....	26
Tabel 4. 2Beban panas yang dihasilkan oleh konduksi matahari melalui kaca, dinding, dan atap.....	27
Tabel 4. 3perhitungan kalor sensibel dan kalor laten yang dihasilkan manusia....	29
Tabel 4. 4 Total beban pendingin. ....	30



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas saat ini menjadi salah satu masalah di kota besar. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan jumlah penduduk yang sangat tinggi yang tidak diiringi dengan penambahan fasilitas jalan. Hal ini menjadi perkara umum yang dihadapi pemerintah saat ini. Beberapa upaya pemerintah untuk mengurangi angka kemacetan tersebut direalisasikan melalui pembangunan alat transportasi umum. Saat ini terdapat berbagai pilihan transportasi umum di ibu kota khususnya seperti TransJakarta (bus), KRL (kereta *commuter*), MRT (*Mass Rapid Transit*), dan LRT (*Light Rail Transit*). Diantara beberapa pilihan moda transportasi tersebut, KRL menjadi moda transportasi yang paling diminati masyarakat ibu kota pada umumnya dengan rata-rata jumlah penumpang harian mencapai 900.000 penumpang. Jumlah penumpang KRL pun tiap tahunnya terus meningkat. KRL menggunakan listrik sebagai tenaga penggerak sehingga tidak menghasilkan polusi dengan kapasitas penumpang yang banyak. Pada transportasi umum yang menggunakan tenaga listrik sebagai penggerak utamanya seperti KRL ini, sistem *heating, ventilation and air conditioning* (HVAC) membebani 30% dari total energi yang dibutuhkan. Hal ini belum dibarengi dengan peningkatan fasilitas kenyamanan khususnya pada sistem HVAC. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan pada ruang atau gerbong meliputi temperatur udara, kelembaban udara, radiasi rata-rata dari atap dan dinding, dan kecepatan gerak udara (Lippsmeier, 1980). KRL juga beroperasi hampir 24 jam setiap harinya sehingga hal ini menimbulkan beban panas yang tinggi akibat radiasi matahari selama sehari penuh.

Penurunan penggunaan energi menghasilkan biaya operasi yang rendah dan dampak lingkungan yang lebih kecil. Hal ini menjadi aspek yang sangat penting pada industri HVAC di kereta. Parameter lainnya, termasuk peratalan, lokasi dan geometri dari udara inlet dan outlet di dalam gerbong juga mempengaruhi distribusi dari aliran udara dan perpindahan panas. Parameter-parameter ini bisa

menyebabkan penumpang merasa tidak nyaman karena ketika tidak ada pengkondisian udara yang merata maka tubuh manusia tidak bisa membuang panas yang dihasilkan ke lingkungan sekitar dengan baik. Berdasarkan SNI 03-6572-2001, kriteria kenyamanan termal pengguna bangunan dengan zona untuk orang Indonesia, yaitu temperatur ruang  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , kecepatan udara antara 0.2m/s sampai 0.8 m/s, serta kelembaban udara relatif  $55\% \pm 10\%$ . Berdasarkan Peraturan Menteri perhubungan No. 175 Tahun 2015 tentang pengondisian udara, kondisi ruangan pada kereta adalah  $22\text{-}26^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan aliran maksimum sebesar 0.5 m/s dengan kelembaban relatif 50-60%. Kondisi ini harus ditopang oleh sistem HVAC yang terdistribusi dalam gerbong.

Pendistribusian udara yang baik dan merata dapat disimulasikan dengan *computational fluid dynamic* (CFD). CFD digunakan dalam industri dan penelitian untuk mensimulasikan fenomena seperti aliran fluida, perpindahan panas dan difusi (Samir Mounjaes, Radhika Gundavelli, 2012). Jika temperatur dalam gerbong kereta dapat tercapai sesuai standar yang berlaku dan terdistribusi dengan baik, maka kenyamanan termal pada penumpang pun akan tercapai.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa temperatur pada sistem pengkondisian udara pada KRL dalam kategori nyaman?
2. Berapa beban pendingin yang memenuhi kriteria nyaman pada KRL dengan metode perhitungan CLTD ?
3. Bagaimana penerapan sistem pengkondisian udara KRL dengan memberi variasi temperatur menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan temperatur pada KRL dalam kategori nyaman.
2. Menentukan sumber – sumber beban pendinginan pada KRL.
3. Menentukan penerapan sistem pengkodisian udara KRL dengan memberi variasi temperatur menggunakan desain simulasi CFD.

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Kondisi desain ruangan berdasarkan *comfort zone* untuk standar ASHRAE.
2. Parameter yang dinalisis adalah *cooling load* dan *psychometric chart*.
3. Data yang digunakan adalah data yang diijinkan dan dikirim oleh PT KCI.
4. Simulai menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

#### 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

##### a. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan

##### b. BAB II TEORI PENUNJANG

Pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan

##### c. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian

##### d. BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari simulasi gerbong kereta KRL, serta analisis dari simulasi yang sudah dilakukan. Hasil pengelolaan data pengukuran ini juga akan disesuaikan dengan standardisasi yang ada.

##### e. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

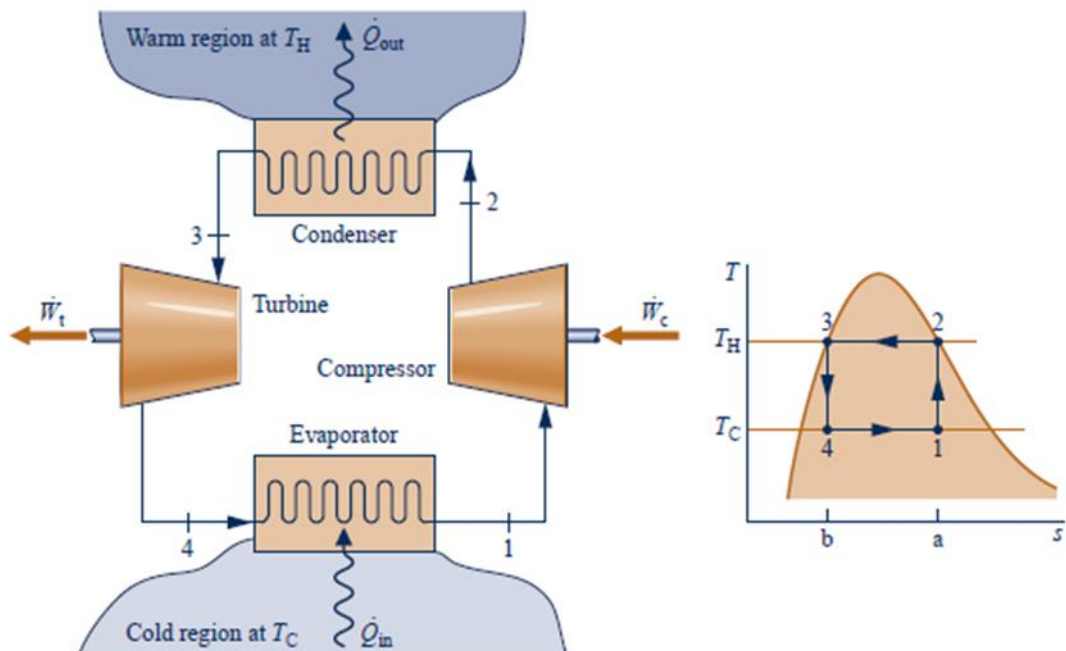
Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi adalah kombinasi komponen dan peralatan yang disusun secara berurutan untuk menghasilkan efek refrigerasi (Wang, 2001). Sistem refrigerasi yang umum digunakan adalah sistem kompresi uap (Wang, 2001). Refrigerasi sendiri adalah suatu proses pemindahan panas dari satu ruang ke tempat lain (Wang,2001). Pada sistem kompresi uap, kompresor akan mengkompres refrigeran setelah terjadi efek refrigerasi sehingga tekanan dan temperatur meningkat. Refrigeran yang telah dikompres disalurkan menuju kondensor untuk diubah fasenya menjadi cair. Refrigeran cair tersebut kemudian diturunkan tekanannya, kemudian dilanjutkan ke dalam evaporator sehingga efek refrigerasi terjadi kembali. Seterusnya proses tersebut akan berulang hingga terjadi siklus refrigerasi. Sistem refrigerasi ditunjukkan pada Gambar 2.1 terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator.



Gambar 2. 1 Siklus refrigerasi ideal (Pamuk & Savas, 2017)

Pada siklus ideal, refrigeran masuk ke dalam evaporator sebagai campuran dua fase cair-uap pada kondisi 4. Di dalam evaporator, sebagian dari refrigeran tersebut berubah fase dari cair menjadi uap sebagai hasil dari perpindahan kalor dari daerah dengan temperatur  $T_C$  ke refrigeran. Temperatur dan tekanan refrigeran tetap konstan selama proses dari kondisi 4 menjadi kondisi 1. Refrigeran kemudian dikompresi secara adiabatik dari kondisi 1, dimana refrigeran masih berupa campuran dua fase cair-uap menuju kondisi 2, dimana refrigeran menjadi uap jenuh. Selama proses ini temperatur refrigeran meningkat dari  $T_C$  menjadi  $T_H$  dan tekanan juga meningkat. Refrigeran melintas dari kompresor menuju kondensor, dimana refrigeran tersebut berubah fase dari uap jenuh menjadi cairan jenuh sebagai hasil dari perpindahan kalor ke daerah bertemperatur  $T_H$ . Temperatur dan teka (2.1) konstan selama proses dari kondisi 2 menjadi kondisi 3. Refrigeran kembali kepada kondisi di mulut evaporator dengan berekspansi secara adiabatik melalui katup ekspansi. Pada proses ini, dari kondisi 3 menuju kondisi 4, temperatur berkurang dari  $T_H$  menjadi  $T_C$ , dan terjadi pula penurunan tekanan. Pada siklus refrigerasi ideal terdiri dari proses yang dapat dibalik secara internal, area pada diagram T-s dapat diartikan sebagai perpindahan panas. Area 1-a-b-4-1 adalah panas yang diterima refrigeran ( $\dot{Q}_{in}$ ) dari daerah dingin per satuan massa refrigeran mengalir. Area 2-a-b-3-2 adalah panas yang dilepas ( $\dot{Q}_{out}$ ) dari refrigeran ke sekeliling (daerah hangat) per satuan massa refrigeran mengalir. Area tertutup 1-2-3-4-1 adalah jumlah transfer panas netto dari refrigeran. Kerja netto adalah perbedaan antara kerja input kompresor dan kerja keluaran turbin. Maka koefisien kinerja  $\beta$  dari setiap siklus refrigerasi adalah rasio dari efek refrigerasi terhadap masukkan kerja netto yang dibutuhkan untuk mencapai efek tersebut (Moran & Shapiro, 2004). Pada siklus refrigerasi uap *Carnot* yang diperlihatkan di Gambar 2.1, koefisien kinerjanya adalah

$$\beta_{maks} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

Adapun siklus refrigerasi uap yang aktual menyimpang cukup jauh dari siklus ideal yang dibahas di atas dan memiliki koefisien-koefisien kinerja yang lebih rendah daripada yang dihitung melalui persamaan (2.1).

Di dalam sistem yang aktual, perpindahan kalor tidak terjadi secara reversibel seperti siklus ideal. Perbedaannya adalah untuk mencapai laju perpindahan kalor yang



memadai untuk menjaga temperatur di daerah dingin untuk tetap pada  $T_C$  dengan menggunakan evaporator berukuran praktis memerlukan temperatur refrigeran di dalam evaporator,  $T_C'$ , beberapa derajat dibawah  $T_C$ . Demikian pula, untuk memperoleh laju perpindahan kalor yang memadai dari refrigeran ke daerah hangat memerlukan temperatur refrigeran di dalam kondenser,  $T_H'$ , beberapa derajat diatas  $T_H$ . Penjagaan temperatur refrigeran di dalam alat penukar kalor pada nilai  $T_H'$  dan  $T_C'$  memiliki dampak berkurangnya koefisien kinerja (Moran & Shapiro, 2004). Dimana persamaannya ditunjukkan seperti berikut:

$$\beta' = \frac{T_C'}{T_H' - T_C'}$$

Dengan membandingkan persamaan (2.2) terhadap persamaan (2.1), dapat disimpulkan bahwa nilai  $\beta'$  adalah lebih kecil dari nilai  $\beta_{maks}$

Berikut merupakan komponen yang ada dalam siklus refrigerasi

#### 2.1.1 Kompresor

Kompresor berfungsi untuk mengkompresi/menambah tekanan refrigeran uap sehingga tekanan uap meningkat saat memasuki kondensor. Kompresor bekerja secara isentropik (entropi konstan).

#### 2.1.2 Kondesor

Kondensor berfungsi untuk membuang panas (*heat rejection*) dari dalam system ke sekeliling lingkungannya. Pada saat refrigeran memasuki kondensor, maka refrigeran akan berubah fase dari uap menjadi cair (terkondensasi). Akibatnya, entalpi dari refrigeran menurun. Dengan adanya perbedaan entalpi pada sisi inlet dan outlet kondensor, maka besarnya panas yang berhasil dilepas oleh refrigeran dapat diketahui.

#### 2.1.3 Katup Ekspansi

Katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan dan mengatur laju aliran massa refrigeran.

#### 2.1.4 Evaporator

Evaporator berfungsi untuk menyerap panas dari ruangan. Panas diserap dan dialirkan melalui kondensor kemudian dipindahkan ke refrigeran. Pada saat panas diserap, entalpi pada refrigeran akan meningkat. Semakin tinggi kenaikan entalpi pada refrigeran pada evaporator, maka

terjadi kenaikan temperatur pada perangkat pendingin udara yang digunakan.

Sistem pengondisian udara pada kereta biasanya berupa unit elektromekanik dengan evaporator jenis *direct expansion*. Jenis refrigeran yang saat ini sering dan banyak digunakan adalah R134a. Seperti halnya pada umumnya, sistem refrigerasi kompresi uap sederhana pada kereta umumnya terdiri dari unit-unit evaporator, kompresor, kondensor dan katup ekspansi.

## 2.2 Beban Pendinginan (*Cooling Load*)

*Cooling load* atau beban pendinginan adalah akumulasi panas sensibel dan laten yang harus dihilangkan dari ruang untuk mempertahankan ruang dalam kondisi konstan dengan temperatur udara kering (Non Residential Cooling and Heating Load Calculation, 2013). Beban pendinginan adalah panas yang harus dihilangkan dalam suatu ruang agar ruang tersebut dapat dikondisikan pada keadaan nyaman. Pada tahap perencanaan, perhitungan beban pendinginan yang tepat perlu diperhatikan karena hasil perhitungan tersebut yang akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan. Beban pendinginan terdiri dari 2 jenis kalor, yakni kalor sensibel dan kalor laten. Kalor sensibel merupakan panas yang menyebabkan terjadinya kenaikan atau penurunan temperatur tanpa merubah fase. Kalor laten merupakan panas yang menyebabkan terjadinya perubahan fase tanpa mengubah temperatur.

## 2.3 Perhitungan Beban Pendingin

Metode CLTD atau *cooling load temperature difference* adalah salah satu metode untuk menghitung beban pendingin pada suatu ruangan berdasarkan beda temperatur ruang dan temperatur lingkungan (SNI 2001). Perhitungan metode CLTD/SCL/CLF dibagi menjadi dua kondisi yaitu kondisi luar ruangan dan kondisi dalam ruangan (Prianto, 2015). SCL (Solar Cooling Load) adalah metode yang berdasarkan pada radiasi matahari yang melalui kaca sedangkan CLF sendiri adalah metode yang sama dengan CLTD yang menghitung beban pendingin dari suatu benda

### 2.3.1 Perhitungan Kalor dari Kondisi Luar Ruangan

dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung kalor

#### a. Beban Radiasi Matahari melalui kaca

$$q = A \times (SC) \times (SCL) \quad (2.2)$$

dimana :

q = beban pendingin karena radiasi matahari (W)

A = Luas permukaan kaca (m<sup>2</sup>)

SC = koefisien peneduh

SCL = Faktor beban pendinginan matahari dengan atau tanpa peneduh (W/m<sup>2</sup>)

#### b. Konduksi Matahari Melalui kaca, Atap dan Dinding

$$q = U \times A \times CLTD \quad (2.3)$$

dimana :

q = beban pendingin karena radiasi matahari (W)

U = Koefisien perpindahan kalor rancangan untuk atap atau dinding atau untuk kaca (W/m<sup>2</sup>.K)

A = Luas permukaan kaca (m<sup>2</sup>)

CLTD = perbedaan temperatur luar dengan temperatur benda dalam (°C)

### 2.3.2 Perhitungan Beban Pendinginan dari Kondisi Dalam Ruangan

Dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung beban pendinginan yang dihasilkan oleh kondisi dalam ruangan

#### a. Penumpang Kereta

$$q_{sensibel} = N (\text{penambahan } Q_{sensibel}) \cdot (CLF) \quad (2.4)$$

dimana :

N = Jumlah orang di dalam ruangan, penambahan kalor sensibel dan laten dari penghuni.

CLF = Faktor beban pendinginan sesuai jam penghunian.

### 2.3.3 Udara Ventilasi dan Udara Infiltrasi

Dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung beban pendinginan dari udara ventilasi dan infiltrasi

$$q_{\text{sensibel}} = (1,23) \cdot Q \cdot (t_0 - t_1) \quad (2.6)$$

$$q_{\text{Laten}} = (3010) \cdot Q \cdot (W_0 - W_1) \quad (2.7)$$

$$q_{\text{TOTAL}} = (1,20) \cdot Q \cdot (h_0 - h_1) \quad (2.8)$$

dimana :

$Q$  = Ventilasi dalam liter per detik, dan infiltrasi(W).

$T_0, t_1$  = Temperatur udara luar dan temperatur udara di dalam ruangan.

$W_0, W_1$  = Kandungan uap air di luar dan didalam ruangan (Kg.uap air/kg udara kering).

$h_0, h_1$  = Entalpi udara di luar dan didalam ruangan, KJ/Kg (udara kering).

## 2.4 Konsep Dasar Pengkondisian Ruangan

Pada dasarnya, pengkondisian ruangan adalah terapan dari teori perpindahan kalor dan termodinamika, serta pembahasan masalah tekniknya dimulai dari aspek-aspek kedua masalah tersebut. Konservasi massa dan konservasi energi menjadi dasar dalam konsep pengkondisian ruangan. Dalam konservasi massa, berat atau massa air yang terkandung dalam setiap udara kering dalam hal ini udara luar ruangan dikurangi sehingga rasio massa air dengan massa udara mencapai standar yang diinginkan. Konservasi energi terjadi karena adanya penurunan dan kenaikan temperatur.

Pengkondisian ruangan dilakukan dengan tujuan memberikan kenyamanan termal pada objek yang ada dalam ruangan yang diinginkan. Kenyamanan termal sendiri pun dipengaruhi oleh faktor-faktor yang ada dibawah ini. (KUEHN, RAMSEY, & TREKELD, 1998)

### 2.4.1 Temperatur

Temperatur menunjukkan derajat panas benda. Mudahnya, semakin tinggi temperatur suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, temperatur menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda.

### 2.4.2 Entalpi

Entalpi campuran udara-kering dan uap-air adalah jumlah entalpi dari udara-kering dan entalpi uap-air. Harga entalpi nol untuk uap-air berada pada kondisi air-jenuh bertemperatur yang bidang datanya sama dengan yang digunakan untuk tabel-tabel uap (*steam*). Suatu persamaan untuk entalpi adalah:

$$h = c_p t + W h_g \quad \text{kJ/kg udara kering}$$

Dimana:

$c_p$  = kalor spesifik udara-kering pada tekanan konstan = 1,0 kJ/kg.  
K

$t$  = temperatur campuran udara-uap

$h_g$  = entalpi uap-air (*steam*) jenuh pada temperatur campuran udara-uap (kJ/kg)

#### 9.4.3. Rasio Kelembaban

Kelembaban relatif didefinisikan sebagai perbandingan fraksi molekul uap air di dalam udara terhadap fraksi molekul uap-air-jenuh pada temperatur yang sama. Dari hubungan-hubungan untuk gas ideal, kelembaban relatif dapat dinyatakan dengan:

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap - air parsial}}{\text{tekanan - jenuh air - murni pada suhu yang sama}}$$

## 2.5 Perhitungan Besarnya Kalor yang Hilang dan Diperoleh

Perpindahan kalor melalui suatu selubung bangunan dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, faktor geometris, seperti ukuran, bentuk, dan orientasinya, adanya sumber-sumber kalor dalam, serta faktor-faktor iklim. Dalam merancang suatu sistem, masing-masing faktor ini perlu diperhitungkan. Begitu juga dampak dari interaksinya perlu dijajaki secara teliti.

Perhitungan kehilangan dan perolehan kalor berguna untuk memperkirakan kapasitas kalor yang diperlukan dalam berbagai peralatan pemanasan dan

pengkondisian udara, untuk mempertahankan kondisi nyaman di dalam suatu ruang. Oleh karena itu, perhitungan-perhitungan beban pemanasan dan pendinginan yang berkaitan dengan kondisi lingkungan yang mendekati nilai ekstrem yang biasa ditemui didasarkan pada kondisi-kondisi puncak. Nilai rancangan keadaan meliputi: temperatur luar/atmosfer yang standar, kelembaban relatif, dan intensitas cahaya matahari yang dapat diambil dari *hand book* ASHRAE). Prosedur perhitungan beban yang telah dikembangkan oleh ASHRAE didasarkan pada suatu evaluasi yang sistematis dari komponen-komponen kalor yang hilang atau kalor yang diperoleh.

Beban kalor yang hilang atau yang diperoleh umumnya dibagi 4 kelompok, yaitu:

a. Transmisi

Transmisi adalah kehilangan kalor atau perolehan kalor yang disebabkan oleh beda temperatur antara dua sisi elemen bangunan.

b. Panas Matahari

Panas matahari yaitu perolehan kalor yang disebabkan oleh penjararan energi radiasi matahari melalui komponen bangunan yang tembus pandang atau penyerapan kalor oleh komponen bangunan yang tidak tembus pandang (*opaque building component*).

c. Perembesan udara (infiltrasi)

Perembesan udara yaitu kehilangan kalor atau perolehan kalor yang disebabkan oleh perembesan udara luar ke dalam ruangan yang dikondisikan.

d. Sumber Dalam (internal)

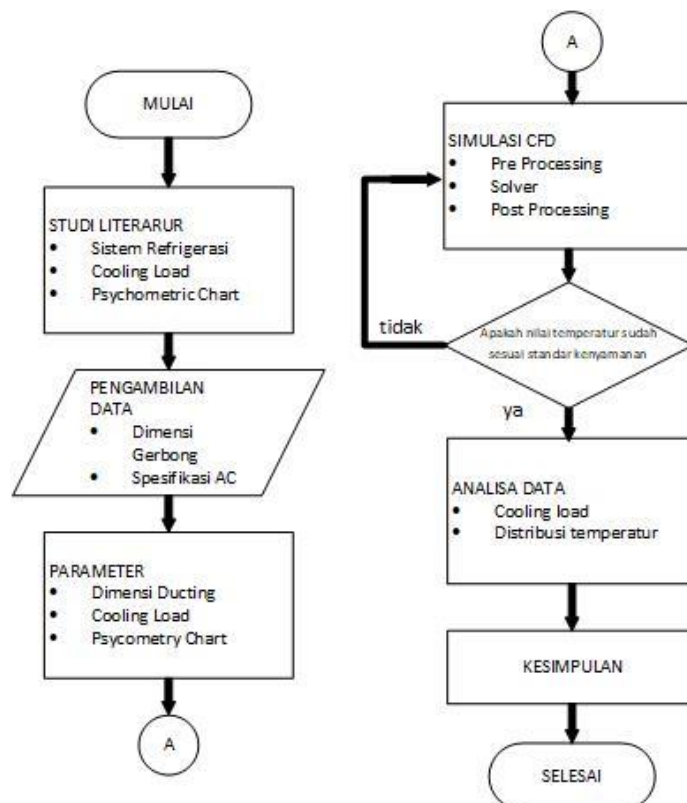
Sumber dalam yaitu perolehan kalor yang disebabkan oleh pelepasan energi panas di dalam ruang oleh lampu-lampu, orang, peralatan, dan sebagainya. Akibat dari beban-beban kalor ini adalah berubahnya temperatur di dalam ruangan jika peralatan pemanas/pendinginan tidak bekerja.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Tugas akhir ini berupa penelitian pada sistem pengkondisian udara pada KRL jabodetabek. Alur penelitian tugas akhir digambarkan pada Gambar 3.1. Tugas akhir ini dimulai dari pemilihan objek kereta yang akan diteliti yaitu kereta *commuter line* jabodetabek. Kereta *commuter line* jabodetabek memiliki 1 unit AC dengan jenis AC central yang letaknya berada di atap kereta. Pengambilan data diantaranya meliputi spesifikasi AC, dimensi kereta, jenis material, temperatur actual, dan kelembaban relatif aktual. Data yang telah didapatkan dianalisis dengan simulasi CFD.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian Tugas Akhir



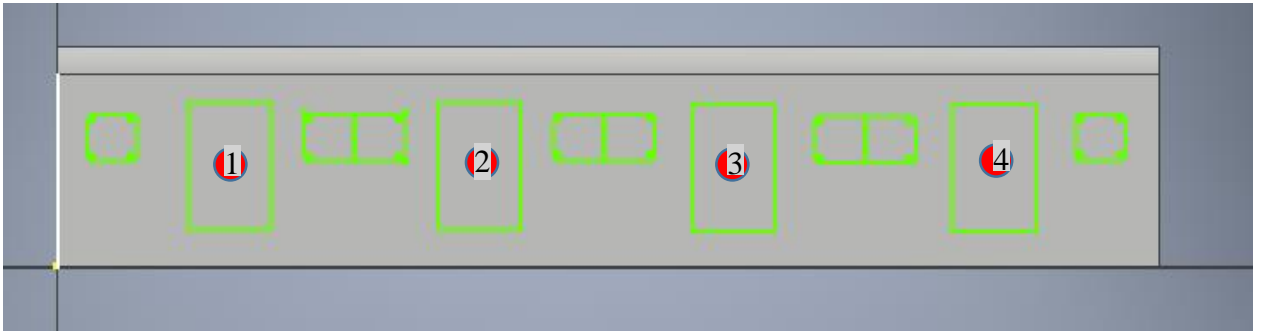
### 3.2 Objek Penelitian



Gambar 3. 2 Penampakan gerbong kereta commuter line.

Kereta *commuter line* Jabodetabek adalah kereta yang beroperasi di wilayah Jakarta dan kota kota penyangga (Bekasi, Bogor, Depok, dan Tangerang) ditambah Lebak. Kereta ini memiliki enam jalur dan 13 relasi. Pada penelitian ini, dipilih kereta rute Jakarta kota – bogor dengan jarak tempuh sekitar 55 km. Kereta *commuter line* memiliki kapasitas penumpang sekitar 60 dalam kondisi duduk dan 250 dalam kondisi maksimum. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran temperatur aktual baik itu temperatur udara bola basah dan bola kering serta kelembaban relatif di dalam kereta dan di luar kereta. Pengambilan data dilakukan di 4 titik seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. Di setiap titik pengukuran diambil 4 sampel temperatur dan kelembaban.

Pengambilan data dimulai dari bagian depan hingga bagian belakang ruang kereta penumpang dan hanya dilakukan pada satu gerbong penumpang, dimana dapat mewakili kondisi keseluruhan rangkaian kereta. Keterangan nama pengambilan titik pengukuran adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 3 Letak titik pengukuran dalam gerbong kereta.

Titik 1: ruang gerbong diantara pintu kiri

Titik 2: ruang gerbong diantara pintu kiri tengah

Titik 3: ruang gerbong diantara pintu kanan tengah

Titik 4: ruang gerbong diantara pintu kanan

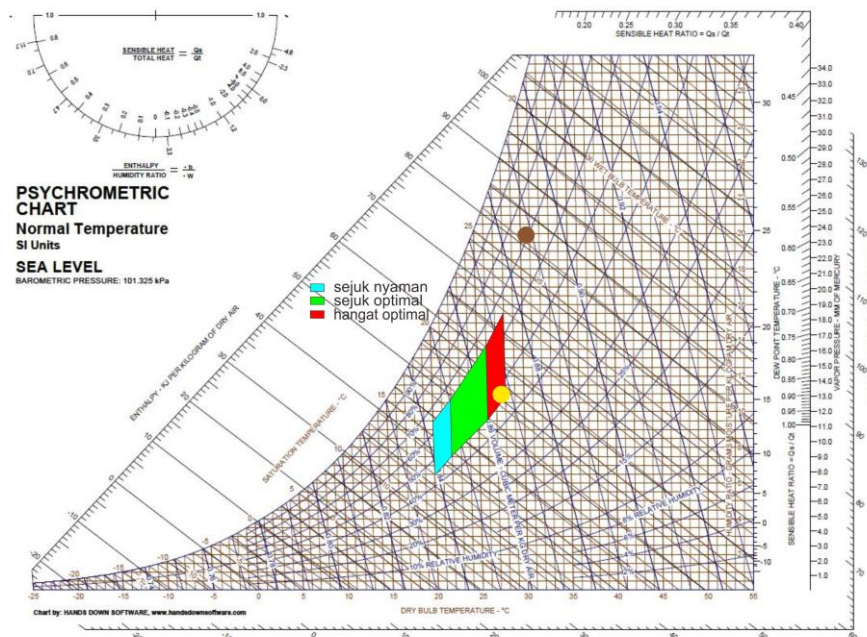
Kondisi kereta selama melakukan pengukuran ada pada Gambar 3.4 dengan jumlah penumpang yang berubah ubah karena dekatnya jarak stasiun pemberhentian.



Gambar 3. 4 Kondisi gerbong pada saat dilakukan pengambilan data pada tanggal 29 januari 2020.

Tabel 3. 1 Data temperature actual dan kelembaban

Titik ke	1.5 m dari lantai	
	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)
1	29,925	43,325
2	29,5	44,425
3	28,5	45,525
4	28,475	46,275



Gambar 3. 5 psikometrik chart pengukuran actual. Warna kuning menunjukkan kondisi dalam ruang gerbong. Warna coklat menunjukkan kondisi luar gerbong

*Air Conditioning* (AC) yang digunakan pada kereta commuter line adalah 1 AC central dengan spesifikasi dan distribusi udara sebagai udara sebagai berikut:

- Udara yang telah terkondisikan (pembuangan panas) melalui unit AC disalurkan ke dalam sistem *ducting* sepanjang *body* satu kereta.
- Udara dari *ducting* kemudian didistribusikan secara merata melalui *line flow fan* sejumlah 6 titik sepanjang *body* satu kereta.
- Kecepatan hembusan udara dari *line flow fan* berkisar  $0,3 - 0,5 \text{ m/s}^2$
- *Temperatur* ruangan dalam *body* kereta yang dikondisikan oleh *sistem* unit AC berkisar  $22 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$
- Kapasitas pendingin unit AC sebesar 42.000 kCal/h
- Daya pendingin sebesar 20,5 kW.

### 3.3 Perhitungan Beban Pendingin

Setelah menentukan objek yang akan diteliti selanjutnya menghitung beban pendingin dengan metode CLTD. Pada metode ini, dihitung beban eksternal dan beban internal dalam kereta. Beban internal meliputi beban penumpang, beban peralatan elektronik dan beban pencahayaan. Untuk beban penumpang dihitung

menggunakan data rata-rata penumpang harian KRL selama satu rute berlangsung. Beban eksternal adalah beban konduksi dari dinding, jendela, atap dan lantai.

Penumpang memberikan panas sesuai aktivitas yang dilakukan. Dalam situasi berdiri dan duduk penumpang mengeluarkan nilai panas sensible dan panas laten yang berbeda (Tabel ASHRAE 1997). Dalam perhitungan beban konduksi dinding, atap dan jendela diperlukan data  $U$  (*thermal transmittance*) dan luas penampang dari bagian kereta tersebut dan temperatur ruang dan lingkungan yang telah diukur dengan menggunakan RH meter. Ventilasi dan infiltrasi adalah panas yang berasal dari udara yang masuk melalui sekat pintu kereta dan celah ventilasi.

### 3.4 Simulasi CFD

Desain simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aliran udara yang ada di kereta commuter line dan distribusi temperatur di ruang kereta. Alur dan langkah pengerjaan CFD dapat dikelompokkan menjadi 3 tahap yaitu *preprocessing*, *Solving* atau *Processing* dan *Post Processing*. (Tuakia, Firman; 2008). Desain kereta seperti desain kereta commuter line dan 2 lainnya adalah dengan menambah variasi jumlah penumpang

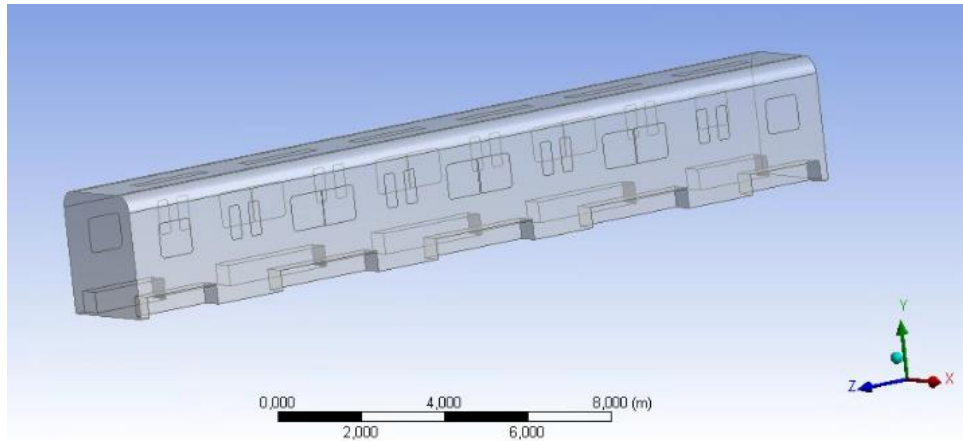
#### 3.4.1 Pre Processing

Pada tahap ini dimulai dengan menentukan domain dan desain geometri yang akan di simulasikan. Sketsa dibuat dengan penggambaran 2D pada bidang XY dengan ukuran tinggi dibuat 3,8 meter dan lebar 2 meter. Kemudian, sketsa XY di-*extrude* ke sumbu-z dengan panjang 20 m. Desain geometri pun sudah terdapat tempat duduk dan jumlah penumpang yang divariasi. Ukuran-ukuran geometri gerbong ditunjukkan pada Table 3.2 dibawah

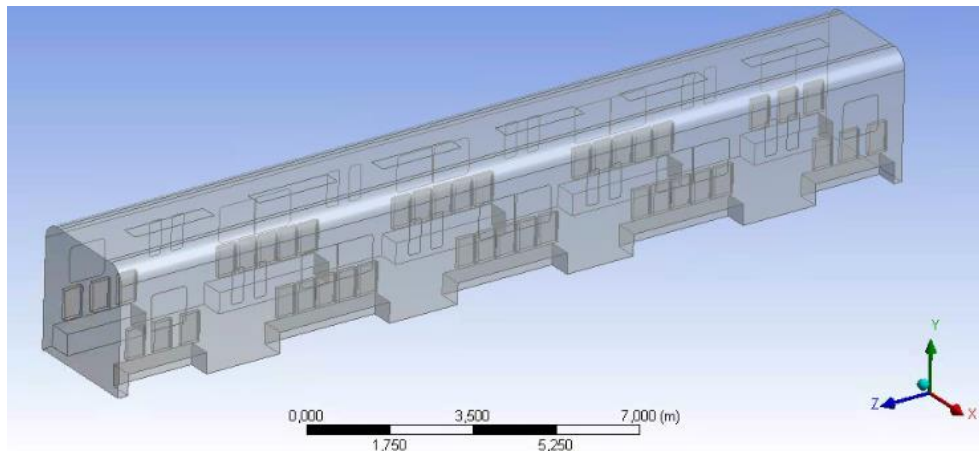
Tabel 3. 2 Ukuran kereta KRL.

Bagian	Jumlah	Ukuran
Dinding KCL	2	3,2 x 20 m

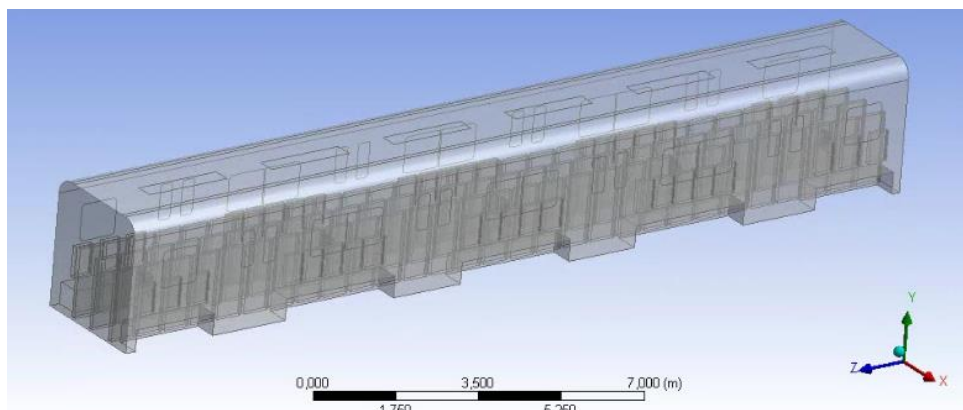
Atap KCL	1	2,8 x 20 m
Kaca pintu	16	30 x 82 cm
Kaca jendela samping	16	85 x 90 cm



Gambar 3. 6 Geometri gerbong KCL tanpa penumpang.

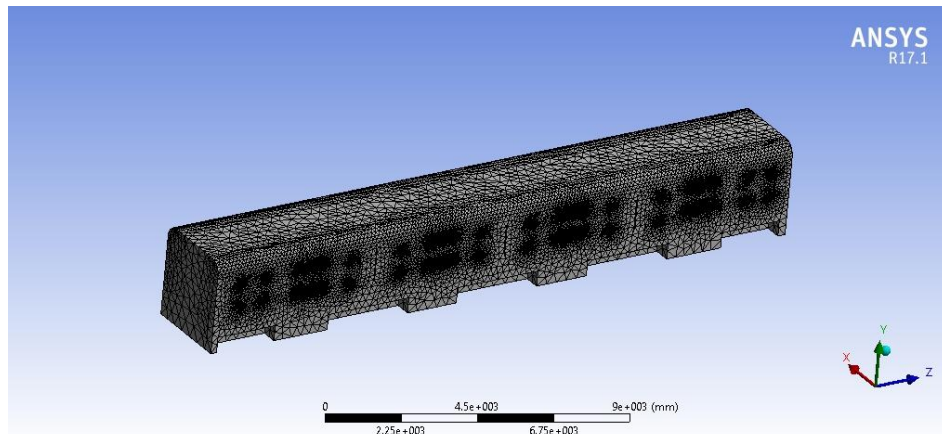


Gambar 3. 7 Geometri gerbong KCL dengan penumpang duduk di kursi.



Gambar 3. 8 Geometri gerbong KRL dengan simulasi penumpang penuh

Setelah selesai melakukan proses penggambaran geometri selanjutnya dilakukan proses *meshing* pada *software* CFD. Berikut adalah gambar dari hasil proses *meshing* yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 9 Hasil *meshing* pada gerbong KRL dengan kondisi ada penumpang.

Pada proses *meshing* dilakukan dengan melihat hasil *skewness* yang paling bagus dengan cara mengubah pengaturan agar sesuai geometri yang ada. Untuk gerbong ini dipilih pengaturan pada bagian *sizing*. Dengan *size function* dipilih *curvature*, *relevance center* dipilih *medium*, *smoothing* dipilih *medium*, dan *transition* dipilih *slow*. *Orthogonal quality* maks = 0,99727, *orthogonal skewness* max = 0,89508, *element quality* max = 0,999 dan *aspect ratio* = 13,148. Berikut adalah table rincian hasil *meshing* dua kondisi.

Tabel 3. 3 Detail mesh.

	Penumpang duduk	Penumpang penuh
<i>nodes</i>	111630	113152
<i>Skewness max</i>	0,89508	0,92966
<i>Element quality max</i>	0,99999	0,99961
<i>Orthogonal quality max</i>	0,99727	0,99829

Penentuan kualitas dari tahap *meshing* salah satunya dapat diindikasikan dari nilai *skewness*. Parameter nilai *skewness* ditunjukkan pada Gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3. 10 parameter nilai skewness

Berdasarkan dari Tabel 3.4, nilai *skewness* pada *meshing* ini adalah 0,89508 dan 0,92966 sehingga bisa dikategorikan *acceptable*

Tabel 3. 4 **Kondisi Batas yang dimasukkan pada CFD**

No	Nama Parameter KA	Tipe Kondisi Batas	Input Data
1	Dinding kiri	Wall	Temperature = 300 k
2	Dinding kanan	Wall	Temperature = 300 k
3	Atap	Wall	Temperature = 300 k
4	Kaca	Wall	Temperature = 300 k
5	Orang	Wall	Heat Flux = 20 W/m <sup>2</sup>
6	Inlet 1 – inlet 6	Velocity inlet	Kecepatan = 0,5 m/s Temperatur = 296 K
7	Outlet 1 – outlet 2	Outflow	

### 3.4.2 Solver

Pada tahap ini dilakukan perhitungan model geometri. Persamaan energi pada pilihan *solver model* diaktifkan. Pada *viscous modeling*, k-epsilon digunakan karena model ini baik digunakan untuk *internal flow*. Pada pilihan *boundary condition*, dimasukkan data-data yang ditunjukkan pada Table 3.4. Pada simulasi, digunakan parameter-parameter yang ditunjukkan pada table 3.5

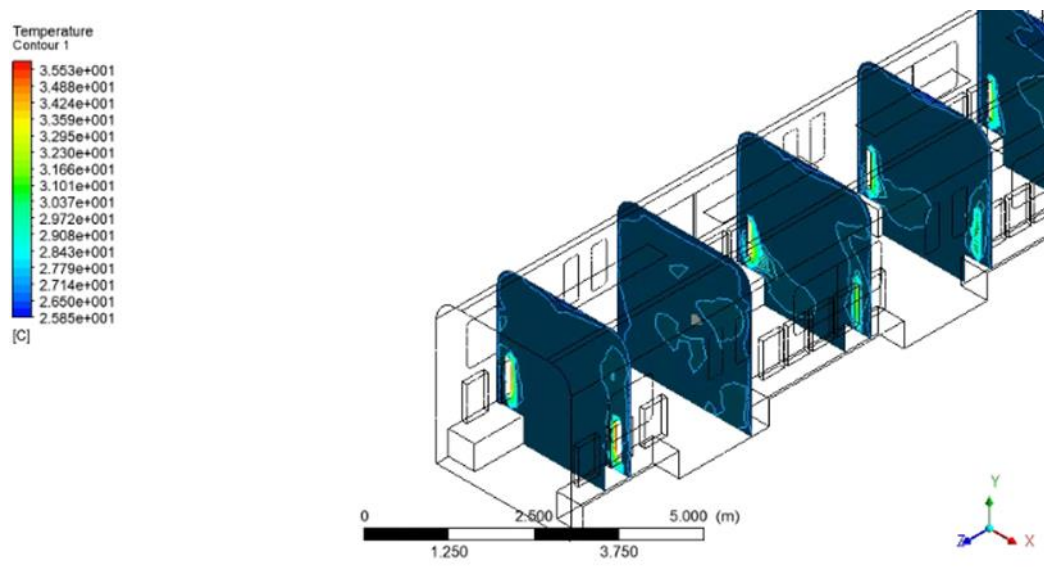


Tabel 3. 5 Penentuan parameter simulasi tahap *solver*

No	Parameter	Jenis
1	<i>Viscous model</i>	<i>Energy equation</i>
2	Model geometri	3D
3	Keadaan	<i>Steady</i>
4	Material properties	Fluid : Air Solid : Alumunium, kulit manusia dan Kaca
	Batas Iterasi Maksimum	100

### 3.4.3 Post Processing

Tahap ini adalah adalah hasil dari serangkaian proses yang telah dilakukan yang ditampilkan dalam bentuk visualisasi kontur temperature dan kecepatan udara. Penampilan visualisasi dilakukan dengan menggunakan fitur *plane* yang bisa memotong bidang XZ sehingga bisa terlihat detail untuk persebaran warnanya. Setelah dilakukan pemotongan lalu fitur kontur diaktifkan. Contoh visualisasi terdapat pada gambar 3.11 dibawah

Gambar 3. 11 visualisasi menggunakan fitur *plane* bidang XZ



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan beban pendinginan pada kereta *commuter line*

Pada kereta *commuter line* ini dilakukan perhitungan beban pendingin dengan memasukan parameter-parameter yang ada. Parameter yang ada ini adalah luas permukaan atap, dinding, kaca, jumlah penumpang, temperature permukaan dari dinding, kaca, dan atap, tempertarur ruangan, temperature luar ruangan(lingkungan) Perhitungan pun dibagi menjadi 2 kategori yaitu perhitungan untuk beban pendingin internal kereta dan pergitungan untuk beban pendingin eksternal. Data yang diperlukan adalah nilai U (transmisi termal), luas atap, luas dinding, perbedaan temperatur lingkungan dengan temperatur ruangan. Berikut merupakan uraian singkat dari langkah langkah perhitungan.

##### 4.1.1 Perhitungan Kalor dari Kondisi Luar Ruangan

###### a. Beban Radiasi Matahari melalui kaca

Pada gerbong kereta *commuter line* terdapat 8 kaca jendela dan 8 kaca yang terletak di pintu per sisi dengan data yang ditunjukkan pada table 4.1 dibawah ini

Tabel 4. 1 beban panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari melalui kaca

Jenis jendela	Luas permukaan (ft <sup>2</sup> )	Koefisien peneduh	SCL (btu/hr ft <sup>2</sup> )	Beban pendinginan	
				(btu/hr)	(watt)
Kaca jendela	8,1913	0,8	164	1074	314,96
Kaca pintu	2,62631	0,8	164	344,58	100,98

Untuk mendapatkan jumlah beban total maka menggunakan rumus dibawah ini.

$$q_{glass\ total} = \sum q_{pintu} + \sum q_{jendela}$$

Diketahui total kaca jendela dan kaca pintu sebanyak 8 per sisi, maka 1 gerbong terdapat 16 kaca jendela dan 16 kaca sehingga untuk masing masing beban panas dikalikan 16. Total beban panas yang dihasilkan oleh kaca dari kereta *commuter line* pada gerbong adalah sebesar 6655.266 watt.

### b. Konduksi Matahari Melalui kaca, Atap dan Dinding

Pada gerbong kereta *commuter line* ini beban pendingin atap dan dinding ditunjukkan pada Table 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2Beban panas yang dihasilkan oleh konduksi matahari melalui kaca, dinding, dan atap.

Jenis	Jumlah	$U$ (W/m <sup>2</sup> .°C)	Luas permukaan (m <sup>2</sup> )	T dalam (°C)	T luar (°C)	$\Delta T$ (°C)	Beban pendinginan (watt)
Kaca jendela	16	0,911	0,761	26	32	6	4,524
Kaca pintu	16	0,911	0,244	26	32	6	1,333
Dinding	2	0,412	43,972	27	32	5	108,699
atap	1	0,412	65,133	26	32	6	134,173

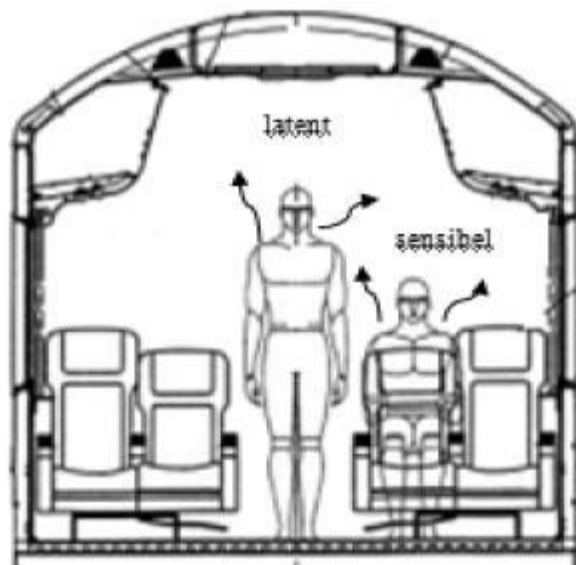
Untuk mendapatkan jumlah beban total maka digunakan persamaan dibawah ini

$$q_{total} = \sum q_{kaca\ jendela} + \sum q_{kaca\ pintu} + q_{atap} + \sum q_{dinding}$$

Maka besar beban konduksi total yang dihasilkan oleh atap, dinding dan kaca adalah sebesar 455,3044 watt.

#### 4.1.2 Perhitungan Kalor dari Kondisi dalam Ruangan

Kereta commuter line jabodetabek setiap harinya membawa hampir 1 juta orang. Kereta beroperasi selama kurang lebih 20 jam penuh. Dalam melakukan perhitungan, dianggap 1 gerbong sama dengan gerbong lainnya. Kapasitas gerbong kereta commuter line Jabodetabek adalah sebanyak 60 orang yang dikondisikan duduk dikursi semua. Sedangkan, untuk kapasitas maksimal 1 gerbong bisa menampung sampai dengan 250 penumpang.



Gambar 4. 1 Sumber panas sensibel dan panas laten dari penumpang.

Tubuh manusia dalam melakukan aktivitas mengeluarkan panas sensibel dan panas laten.. Dalam perhitungan beban penumpang dibutuhkan data kalor sensible dan kalor laten yang dikeluarkan oleh manusia. Berdasarkan ASHRAE 1997 dimana dijelaskan bahwa beban pendingin dari kalor sensibel manusia adalah 61,5 Watt dan kalor laten adalah 41 Watt dimana penumpang dikondisikan duduk santai. Sedangkan, untuk kondisi berdiri beban pendingin dari kalor sensible manusia adalah sebesar 92,317 Watt dan kalor laten sebesar 95, 248 Watt.

Dalam perhitungan, diasumsuikan kondisi penumpang penuh sehingga 60 orang posisinya duduk dan sisanya berdiri. Maka untuk menghitung beban penumpang menggunakan perhitungan dibawah ini.

$$q_{sensible} = \text{jumlah penumpang} \times q_s \times CLF$$

$$q_{latent} = \text{jumlah penumpang} \times q_l$$

Tabel 4. 3perhitungan kalor sensibel dan kalor laten yang dihasilkan manusia.

Jumlah penumpang	Kalor sensibel (W)	Kalor laten (W)	CLF	Total kalor	
				Kalor sensibel (W)	Kalor laten (W)
60 kondisi duduk	61,5	41	0,68	2509,2	2460
190 kondisi berdiri	92,317	95,248	0,68	11927,356	18097,12

#### 4.1.3 Perhitungan udara ventilasi dan udara infiltrasi

Untuk menghitung udara ventilasi dan udara infiltrasi maka digunakanlah rumus pada persamaan (2.6), (2.7), dan (2.8).

- Mengetahui q sensibel ventilasi

Diketahui

T lingkungan = 32 °C

T ruang = 27 °C

Volume Kereta = 162,4 m<sup>3</sup>

Ventilasi rate, Q = 28,8 m<sup>3</sup>/

$$\begin{aligned} Q_{\text{sensibel}} &= 1,23 * 480 \text{liter/detik} * (32-27) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 2952 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Mengetahui q laten ventilasi

Diketahui :

W lingkungan = 0,0248 /kg

$$W_{\text{ruang}} = 0,0176 \text{ /kg}$$

$$\text{Ventilasi rate, } Q = 28,8 \text{ m}^3/\text{min} = 480 \text{ liter/detik}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Laten}} &= 3010 * 480 \text{ liter/detik} * (0,0248 - 0,0176) / \text{kg} \\ &= 10547,04 \text{ watt} \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Total beban pendingin.

BEBAN EKSTERNAL	SENSIBEL (W)	LATEN (W)
Dinding	217,397568	
Atap	134,17398	
Kaca	93,73776	
Radiasi Matahari melau Kaca	6655,266	
Ventilasi	2592	10574,04
<b>TOTAL</b>	<b>9692,575</b>	<b>10547,04</b>
BEBAN INTERNAL		
Penumpang	14436,5564	20557,12

Berdasarkan perhitungan nilai beban pendingin pada Table 4.4, didapat bahwa beban pendingin internal lebih besar daripada beban pendingin eksternal. Pengaruh beban internal lebih besar dalam beban pendingin di dalam ruang gerbong dikarenakan banyaknya jumlah penumpang yang ada di dalam gerbong kereta

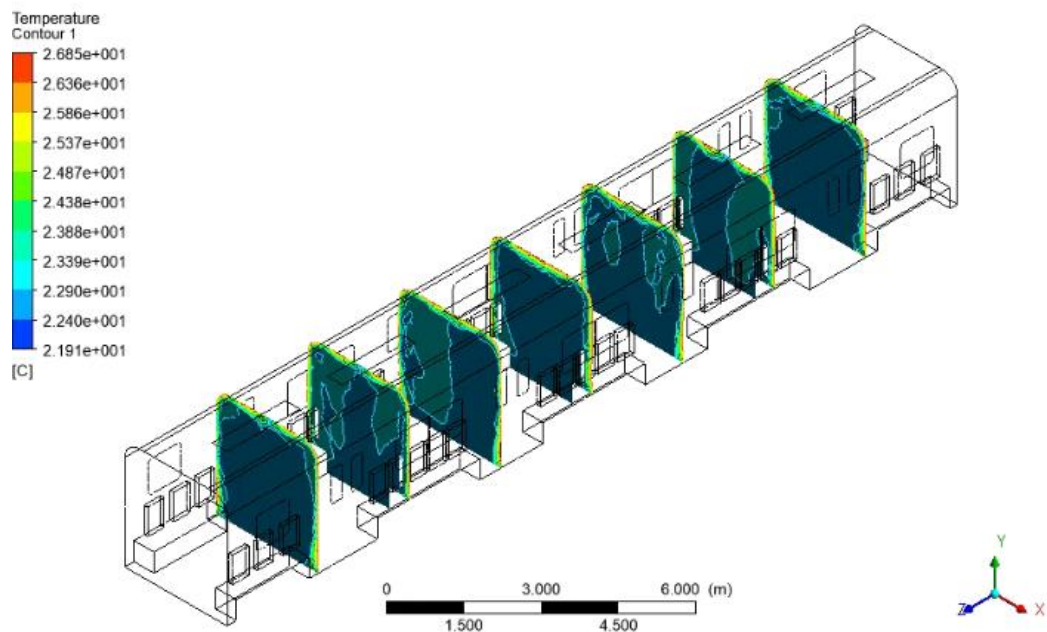
#### 4.2 Analisa Kenyamanan Termal terhadap Variasi Jumlah Penumpang dan Variasi Temperatur dengan Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)

Kereta *commuter line* memiliki 12 gerbong. Kereta yang menjadi objek penelitian ini adalah jenis jr-205. Pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap salah satu gerbong yang merepresentasikan semua gerbong kereta *commuter line*. Hal ini dikarenakan satu gerbong ini memiliki geometri dan spesifikasi yang sama



sehingga simulasi cukup dilakukan pada satu gerbong saja. Beban pendinginan dihitung sesuai dengan kondisi dan spesifikasi yang ada. Kereta *commuter line* adalah salah satu jenis transportasi umum yang sering digunakan oleh masyarakat jabodetabek sehingga jumlah penumpang pun cukup banyak dan cukup fluktuatif. Pada penelitian ini dibuat variasi jumlah penumpang karena jumlah penumpang mempengaruhi kenyamanan termal dari ruangan gerbong.

Simulasi pertama adalah variasi gerbong tanpa penumpang sehingga bisa diketahui seberapa nyaman gerbong tanpa penumpang ini. Hasil simulasi berupa kontur distribusi temperatur yang ditampilkan dengan menggunakan *plan view* dengan sudut pandang *isoview* sehingga terlihat seluruh keadaan dari luar kereta *commuter line*. Berikut adalah hasil simulasi dari ruangan gerbong.

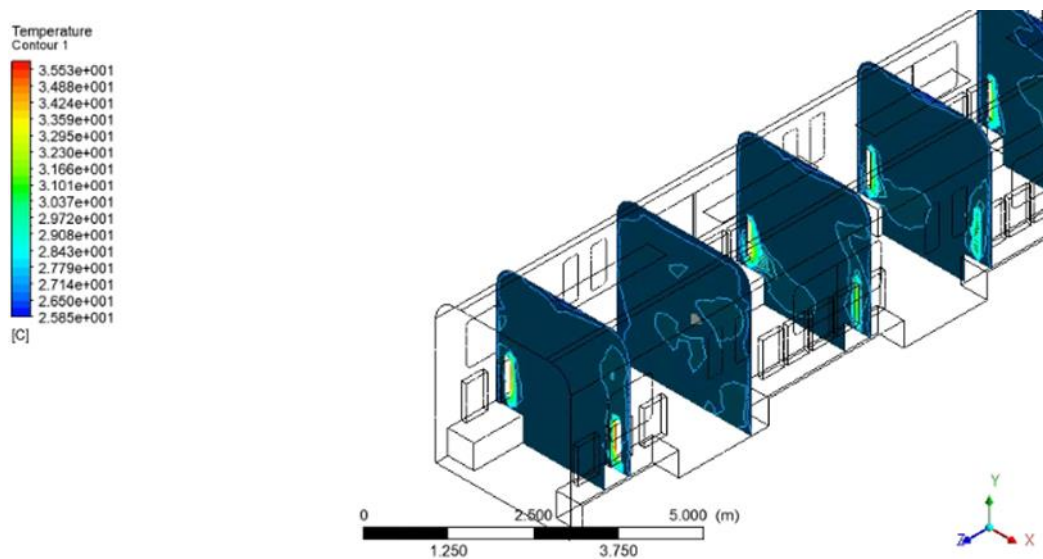


Gambar 4. 2 Kontur distribusi temperatur ruangan gerbong tanpa penumpang.

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan kontur distribusi temperatur pada gerbong tanpa penumpang dengan hasil temperaturteratur paling tinggi yaitu  $27^{\circ}\text{C}$  dan temperatur paling rendah adalah  $22^{\circ}\text{C}$ . Hal ini sesuai yang diharapkan dari kondisi kenyamanan termal dengan simulasi yang dilakukan sesuai dengan *boundary condition* yang ditunjukkan pada Table 3.4. Distribusi temperatur terlihat merata pada seluruh bagian gerbong. Kondisi temperatur tinggi ada pada dekat dinding,

kaca, dan atap yang terpengaruh langsung oleh radiasi matahari dan konduksi matahari.

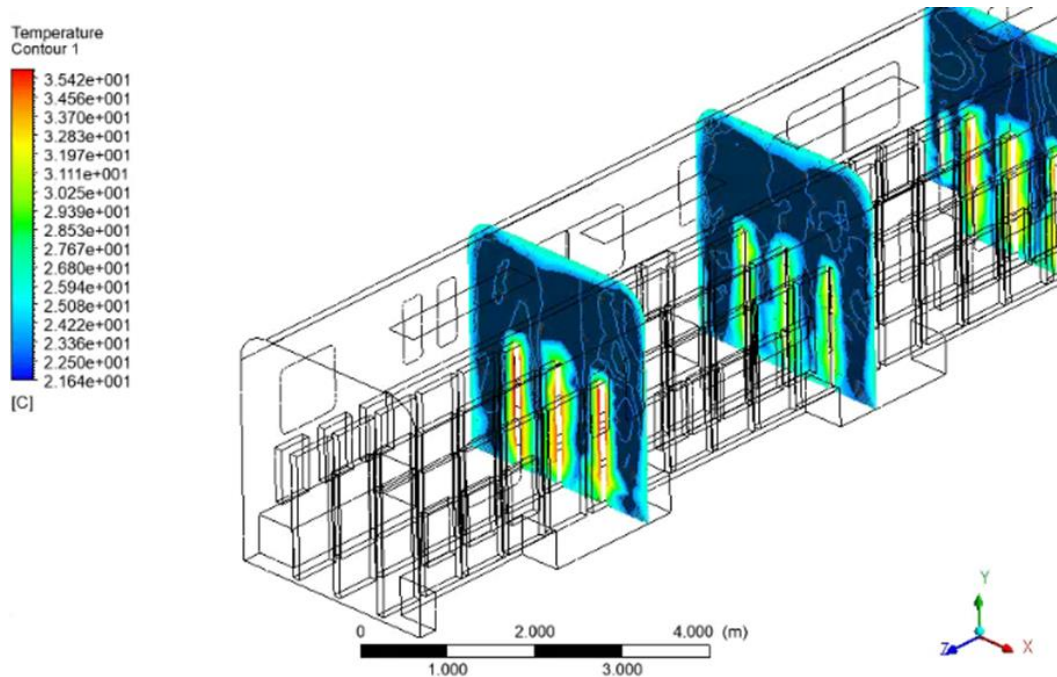
Selanjutnya variasi kedua dengan kondisi penumpang memenuhi tempat duduk yang tersedia. Pada kondisi ini masukan temperatur pada inlet diatur berbeda yaitu  $26^{\circ}\text{C}$ . Berikut adalah hasil simulasi dalam bentuk tampilan *isoview*:



Gambar 4. 3 Kontur distribusi temperatur ruangan gerbong dengan penumpang duduk dengan temperatur inlet sebesar  $26^{\circ}\text{C}$ .

Gambar 4.3 menunjukkan kontur distribusi temperatur pada gerbong dengan kondisi penumpang duduk dengan hasil temperatur paling tinggi yaitu  $35,53^{\circ}\text{C}$  dan temperatur paling rendah adalah  $25,85^{\circ}\text{C}$ . Distribusi temperatur terlihat merata pada seluruh bagian gerbong hanya saja pada bagian dekat dengan penumpang temperatur semakin meningkat meskipun tidak signifikan. Hal ini dikarenakan oleh penumpang sendiri mempunyai beban panas sehingga terlihat pada gambar bagian kotak yang diasumsikan sebagai penumpang sangat merah. Rata rata temperature pada simulasi variasi ini adalah sebesar  $27^{\circ}\text{C}$ . Jika dilihat dari standar kenyamanan termal kondisi seperti ini masih dikatakan nyaman karena lingkungan sekitar penumpang memiliki temperatur sebesar  $22^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $30^{\circ}\text{C}$ .

Selanjutnya, variasi ketiga dengan kondisi penumpang hampir penuh sehingga penumpang yang berdiri memenuhi seluruh tempat berdiri yang tersedia dan juga duduk di tempat duduk yang tersedia.. Berikut adalah hasil simulasi dalam bentuk tampilan *isoview*:



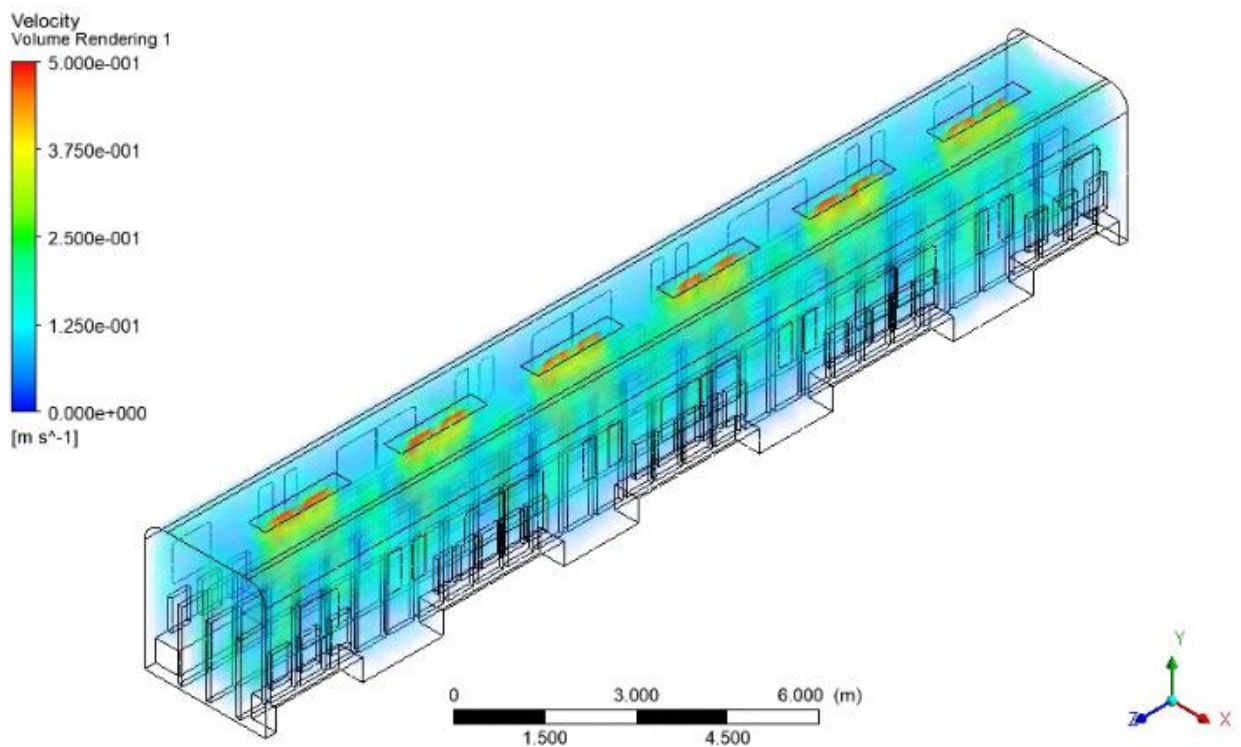
Gambar 4. 4 Kontur distribusi temperatur ruangan gerbong kondisi penumpang hampir penuh sehingga banyak penumpang yang berdiri dan penumpang duduk dengan temperatur masukan inlet sebesar 23°C.

Pada Gambar 4.4 ditunjukkan kontur distribusi temperatur pada gerbong dengan masukan temperature inlet temperatur paling tinggi mencapai 21,6°C . Distribusi di sekitar penumpang pun mencapai 30,2°C. Rata rata temperatur dari hasil simulasi adalah 23,48 °C.

Pada dua variasi yang dilakukan dengan kondisi yang berbeda dimana kondisi pertama penumpang hanya mengisi tempat duduk dengan temperatur masukan inlet 26 °C menghasilkan rata rata temperature sebesar 27 °C sedangkan pada kondisi penumpang penuh dengan temperatur masukan inlet 23 °C menghasilkan rata rata temperature sebesar 23,48 °C. Perbedaan ditunjukkan pada sebaran warna hijau mendekati kuning diantara penumpang

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa rata rata temperature yang ditunjukkan hasil mendekati kondisi actual yang ditunjukkan pada table 3.1 halaman 15

Kontur distribusi aliran udara pada gerbong dengan segala kondisi (variasi jumlah penumpang) memiliki visualisasi yang sama. Kontur ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Kontur distribusi kecepatan udara pada ruangan gerbong dengan segala kondisi.

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan kontur distribusi kecepatan udara. Dengan kondisi inlet dari *ducting* yang diletakkan di atas dan berjumlah 6 buah, distribusi udara pun menjadi merata di setiap sisi gerbong dengan rata rata kecepatan udara yang mengelilingi penumpang adalah sebesar 0,125 m/s. Hal ini sudah sesuai dengan kenyamanan termal dimana penumpang merasa nyaman dan hampir tidak merasakan adanya pergerakan udara.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan simulasi dan analisis data yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi temperatur dalam 2 variasi yang dilakukan memiliki nilai rata rata temperatur yang sedikit berbeda yaitu untuk variasi dengan kondisi penumpang memenuhi tempat duduk dengan temperatur inlet sebesar 26°C didapatkan rata rata temperature sebesar 27°C Hal ini masih masuk dalam kondisi nyaman berdasarkan kondisi nyaman sedangkan untuk variasi penumpang penuh distribusi temperatur dengan temperatur inlet sebesar 23°C didapatkan rata rata temperature sebesar 23,48°C.
2. Beban pendingin atau *cooling load* yang dihasilkan oleh KRL lebih banyak dihasilkan dari dalam KRL yaitu dari banyaknya penumpang yang naik di KRL. Total kalor yang dihasilkan adalah sebesar 59916,03 kcal/hr yang mana ini sudah melebihi batas dari kapasitas AC yang hanya sebesar 42500 kcal/hr. Sedangkan, dalam kondisi penumpang tidak penuh (dikondisikan duduk) total kalor yang dihasilkan hanya mencapai 34094,985 kcal/hr dimana ini masih dibawah kapasitas AC
3. Kecepatan udara rata rata pada gerbong tidak lebih dari 0,25 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa kenyamanan termal sudah tercapai.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- KRL - Commuterline Indonesia*. (2019, December 19). Retrieved from Kereta Commuter Indonesia: [www.krl.co.id](http://www.krl.co.id)
- KUEHN, T., RAMSEY, J., & TREKELD, J. (1998). *Thermal Enviromental Engineering* . Prentice Hall.
- Liu, W., Qihong, D., Huang, W., & Liu , R. (2011). Variation in Cooling Load of a Moving Air-Conditioned Train Compartment under The Effects of Ambient Conditions and Body Thermal Storage. *Applied Thermal Engineering*, 1150-1162.
- Liu, Y., Wang, L., Liu, J., & Di, Y. (2013). A Study of Human Skin and Surface Temperature in Stable and Unstable Thermal Environments. *Journal of Thermal Biology*, 440-480.
- Moran, M., & Shapiro, H. (2004). Sistem Refrijerasi dan Pompa Kalor. In *Termodinamika Teknik* (pp. 144-148). Jakarta: John Wiley & Sons, Inc.
- Non Residential Cooling and Heating Load Calculation. (2013). In *ASHRAE Handbook of Fundamental* .
- NONRESIDENTIAL COOLING LOAD AND HEATING LOAD. (1997). In *ASHRAE Handbook*.
- Nuraeni, T., Khrisna, P., & Ary , B. (2010). Perhitungan Ulang Sistem Pengkondisian Udara Pada Gerbong Kereta Api Penumpang Eksekutif Malam. *Jurnal POMITS* .
- Pamuk, M., & Savas, A. (2017). A Practical Tool for Evaluating Refrigeration Systems Using R-134a. *Journal of ETA Maritime Science*. 5. 69-79. [10.5505/jems.2017.19483](https://doi.org/10.5505/jems.2017.19483).
- PP, D. (n.d.). Peraturan Menteri perhubungan no 175 tahun 2015 tentang pengondisian Udara.
- Prianto, Y. T. (2015). Analisis Temperatur dan Sistem Pengkondisian Udara Pada Kereta Esekutif Malam Bangunkarta.
- Rupp, R., Vásquez, N., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 178-205.



Samir, Moujaes, & Gudanvelli, R. (2012). CFD simulation in leak in residential HVAC dust. *Energy and Building*, 534 - 539.

Tuakia, F. (2008). *Dasar dasar CFD Dengan Menggunakan Fluent* . Bandung: Informatika.

*www.researchgate.net*. (2020, may 26). Retrieved from [https://www.researchgate.net/post/How\\_can\\_I\\_understand\\_mesh\\_quality\\_and\\_simulation\\_results\\_in\\_CFD/5c6fa9dff0fb627d6d3ac0a3/citation/download](https://www.researchgate.net/post/How_can_I_understand_mesh_quality_and_simulation_results_in_CFD/5c6fa9dff0fb627d6d3ac0a3/citation/download).

## LAMPIRAN

### Standar Kenyamanan Termal

Adapun standar kenyamanan termal terbagi menjadi 3 yaitu temperatur, kelembapan atau RH, dan kecepatan. Standar kenyamanan pada kecepatan yang berlaku menurut *Lippsmeir* (1997:38) yaitu:

- 0,25 m/s ialah nyaman, tanpa disarakan adanya pergerakan udara
- 0,25 m/s – 0,5 m/s ialah nyaman, gerakan udara terasa
- 0,6 m/s – 1,5 m/s aliran udara ringan kurang menyenangkan
- Diatas 1,5 m/s tidak menyenangkan

Untuk standar kenyamanan temperatur *SNI-14-1993-03* menyatakan daerah kenyamanan termal pada ruangan yang di kondisikan untuk orang Indonesia yaitu:

- Sejuk nyaman, antara temperatur efektif 20,8°C – 22°C
- Nyaman optimal, antara temperatur efektif 22°C – 25,8°C
- Hangat nyaman, antara temperatur efektif 25,8°C – 27,1°C

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Nama penulis Abyan Hilmy Yafi. Penulis dilahirkan pada tanggal 5 desember 1997 di kota Bekasi. Penulis berasal dari kabupaten Batang Jawa Tengah dan mendapatkan pendidikan awal di SD Proyonanggan 11 Batang. Penulis melanjutkan pendidikan menengah di kota Pekalongan tepatnya di SMP N 2 Pekalongan dan SMA N 1 Pekalongan. Penulis mulai memasuki dunia perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jurusan Teknik Fisika. Selama berkuliah penulis pernah bergabung menjadi staff di BEM FTI ITS pada tahun 2017-2018. Pada tahun 2019 penulis mengikuti kerja praktek di bagian *chiller* pada Tunjunagan Plaza 6 PT. Pakuwon Jati Tbk.

Pada bulan Mei 2020 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisa Energi Pada Sistem Pengkondisian Udara Pada Kereta *Commuter Line* Jabodetabek dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*”. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email [abyanhy@yahoo.com](mailto:abyanhy@yahoo.com)