



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**ANALISA KENYAMANAN TERMAL PADA GERBONG *LIGHT RAIL TRANSIT* (LRT) PALEMBANG TERHADAP VARIASI BENTUK *DUCTING* MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

**YARITSA ADNIN MAJID  
NRP. 2413 100 140**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Sarwono, M.M  
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





***FINAL PROJECT - TF 141581***

**ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN LIGHT RAIL TRANSIT  
(LRT) PALEMBANG VEHICLE TO VARIATION OF DUCTING  
USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

**YARITSA ADNIN MAJID  
NRP. 2413 100 140**

***Supervisors :***  
**Ir. Sarwono, M.M**  
**Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc**

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017***



## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yaritsa Adnin Majid  
NRP : 2413100140  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kenyamanan Termal pada Gerbong *Light Rail Transit (LRT)* Palembang Terhadap Variasi Bentuk *Ducting* Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*” adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apalagi di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 31 Mei 2017  
Yang membuat pernyataan,

Yaritsa Adnin Majid  
NRP. 2413 100 140



**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA KENYAMANAN TERMAL PADA GERBONG  
LIGHT RAIL TRANSIT (LRT) PALEMBANG TERHADAP  
VARIASI BENTUK *DUCTING* MENGGUNAKAN  
METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

Oleh:

Yaritsa Adnin Majid

NRP. 2413 100 140

Surabaya, 31 Mei 2017

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I**



Ir. Sarwono, M.M  
NIP. 19580530 198303 1 002

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing II**



Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc  
NIP. 19880710 201504 2 001

**Mengetahui,  
Ketua Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIP. 19780902 200312 1 002

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

**ANALISA KENYAMANAN TERMAL PADA GERBONG  
LIGHT RAIL TRANSIT (LRT) PALEMBANG TERHADAP  
VARIASI BENTUK *DUCTING* MENGGUNAKAN  
METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

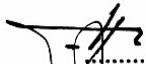
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Yaritsa Adnin Majid  
NRP. 2413 100 140**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Sarwono, M.M.  ..... (Pembimbing I)
2. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.  ..... (Pembimbing II)
3. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T  ..... (Penguji I)
4. Ir. Roekmono, M.T.  ..... (Penguji II)
5. Harsono Hadi, Ph.D  ..... (Penguji III)

**SURABAYA  
JULI, 2017**

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

**ANALISA KENYAMANAN TERMAL PADA GERBONG  
LIGHT RAIL TRANSIT (LRT) PALEMBANG TERHADAP  
VARIASI BENTUK *DUCTING* MENGGUNAKAN  
METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

**Nama** : Yaritsa Adnin Majid  
**NRP** : 2413 100 140  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Sarwono, M.M.  
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc

**Abstrak**

Salah satu transportasi umum yang sedang dikembangkan oleh Pemerintah guna mengurangi dampak kemacetan adalah *Light Rail Transit* (LRT) yang akan digunakan di Palembang. Dalam perancangannya, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan salah satunya kenyamanan termal. Dimana salah satu aspek dalam kenyamanan termal adalah *Cooling load* untuk memperkirakan kapasitas dari AC yang akan digunakan. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan pada ruang atau gerbong yaitu temperatur udara, kelembaban udara, dan kecepatan gerak udara dalam ruangan. Selain itu, untuk menerapkan sistem tata udara yang efisien, simulasi ukuran dan bentuk *ducting* dilakukan untuk melihat kenyamanan termal yang ada didalam gerbong sistem. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan didapatkan bahwa *cooling load* dari tiap gerbong yaitu 36.160,96 kcal/hr untuk gerbong MC dan 39.601,15 kcal/hr untuk gerbong T. Dari hasil simulasi didapat nilai rata-rata temperatur udara variasi *ducting* persegi panjang pada gerbong MC sebesar 22.47 °C dan pada gerbong T sebesar 23.2 °C. Untuk variasi *ducting* lingkaran pada gerbong MC sebesar 22.84 °C dan pada gerbong T sebesar 23.7 °C. Kecepatan udara rata-rata yang mengenai penumpang pada variasi *ducting* persegi panjang untuk gerbong MC sebesar 0.4 m/s dan untuk gerbong T sebesar 0.44 m/s. Untuk kecepatan udara rata-rata yang mengenai penumpang pada variasi *ducting* lingkaran untuk gerbong MC sebesar 0.7 m/s dan untuk gerbong T sebesar 0.78 m/s.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa kecepatan udara rata-rata yang mengenai penumpang dari *ducting* bentuk persegi panjang lebih kecil nilainya daripada *ducting* bentuk lingkaran.

**Kata Kunci:** Kenyamanan Termal, *Cooling Load*, *Light Rail Transit*

**ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN LIGHT RAIL  
TRANSIT (LRT) PALEMBANG VEHICLE TO VARIATION  
OF DUCTING USING COMPUTATIONAL FLUID  
DYNAMICS (CFD)**

**Name** : Yaritsa Adnin Majid  
**NRP** : 2413 100 140  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisors** : Ir. Sarwono, M.M  
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc

**Abstract**

*Light Rail Transit (LRT) is one of public transportation under development by the Government to reduce the impact of traffic light which will be used in Palembang. In the design, there are several aspects that need to be concern such as thermal comfort. Cooling loads also need to be calculated to estimate the capacity of Air Conditioner. There are several factors that affect train thermal comfort level such are air temperature, air humidity, and speed of air movement in the room. Based on the research, it was found that the cooling load of each vehicle was 36,160,96 kcal / hr for MC train and 39,601.15 kcal / hr for T train. By determining the size and shape of the ducting, a simulation was performed to see the thermal comfort level of train. The simulation indicates that the average value of rectangular ducting variation temperature in MC train is 22.47 °C and in T train is 23.2 °C. And for circle shape ducting variation, the result indicates that temperature in MC train is 22.84 °C and in T train is 23.7 °C. The average air velocity on passengers on rectangular ducting variation in MC train is 0.4 m / s and in T train is 0.44 m / s. The average air velocity on circular ducting MC train is 0.7 m / s and 0.78 m / s for T train. Thus can be conclude that the average velocity of air rectangular shape ducting is smaller than the circular shape ducting.*

**Keywords** : *Thermal Comfort, Cooling Load, Light Rail Transit*

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISA TINGKAT KENYAMANAN TERMAL PADA GERBONG *LIGHT RAIL TRANSIT* (LRT) PALEMBANG TERHADAP VARIASI BENTUK *DUCTING* MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)”**.

Tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Sarwono, M.M selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir ini, yang telah membimbing serta memberikan motivasi
2. Ibu Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah membimbing serta memberikan motivasi
3. Bapak Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing serta memberikan nasehat dan motivasi
4. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T, Msi, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
5. Bapak Dr Gunawan Nugroho, S.T, Ph.D selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS
6. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika
7. Segenap Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir
8. Teman-teman asisten Lab laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS yang memberikan bantuan serta motivasi
9. Fanisa Zidna T, Intan Luruh L, Icha Ady R, Thalita Maysya H, serta teman-teman TAwan dan F48 yang sangat membantu dalam memberikan motivasi

10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

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 bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 31 Mei 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Refrigerasi .....	5
2.2 <i>Cooling Load</i> atau Beban Pendinginan.....	7
2.2.1 Kalor Sensibel .....	7
2.2.1.1 Perpindahan Kalor Melalui Kaca .....	7
2.2.1.2 Perpindahan Kalor Melalui Dinding dan Atap.....	8
2.2.1.3 Beban Panas Internal .....	9
2.2.1.4 <i>Outdoor Air Quantity</i> .....	10
2.2.1.5 Perpindahan Kalor Selain Melalui Dinding dan Atap.....	11
2.2.2 Beban Kalor Laten.....	12
2.2.2.1 Beban Panas Internal .....	12
2.2.3 Total Beban Kalor .....	14
2.3 <i>Ducting</i> atau Saluran Distribusi Udara .....	15
2.4 <i>Light Rail Transit (LRT)</i> .....	16
2.5 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> .....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Skema Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Pengumpulan Data Masukan Parameter Design ...	20

3.3	Perancangan Desain Sistem .....	21
3.3.1	Beban Pendinginan atau <i>Cooling Load</i> .....	21
3.3.2	Kalor Sensibel .....	21
3.3.2.1	Perpindahan Kalor melalui Kaca .....	21
3.3.2.2	Perpindahan Kalor melalui Atap dan Dinding.....	22
3.3.2.3	Beban Panas Internal .....	24
3.3.2.4	<i>Outdoor Air Quantity</i> .....	25
3.3.2.5	Perpindahan Kalor selain melalui Dinding dan Atap .....	26
3.3.3	Beban Kalor Laten.....	28
3.3.3.1	Beban Panas Internal .....	28
3.3.2.1	Total Beban Kalor .....	32
3.3.3	Kondisi Udara Suplai ( <i>Supply Air</i> ).....	36
3.3.4	Kondisi Udara Campuran ( <i>Mixture Air</i> ).....	37
3.3.5	Perancangan Saluran Udara ( <i>Ducting</i> ) .....	39
3.3.6	<i>Diffuser</i> .....	40
3.3.7	Simulasi Desain Kenyamanan Termal.....	42
3.3.7.1	Pre Processing .....	42
3.3.8	Menentukan <i>Boundary Condition</i> .....	46
3.3.9	<i>Processing</i> .....	47
3.3.9.1	<i>Solver model</i> .....	47
3.3.9.2	<i>Material</i> .....	47
3.3.9.3	<i>Boundary Condition</i> .....	47
3.3.9.4	<i>Control and Monitoring Solution</i> .....	47
3.3.9.5	<i>Initialize Condition</i> .....	48
3.3.9.6	<i>Iterations</i> .....	48
BAB IV	.....	49
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	.....	49
4.1	Validasi Hasil Simulasi .....	49
4.1.1	Validasi iterasi .....	49
4.1.2	Validasi Perhitungan .....	49
4.2	Analisa hasil <i>Cooling Load</i> .....	50
4.3	Analisa Kenyamanan Termal terhadap variasi bentuk <i>duct</i> dengan Simulasi CFD.....	52
5.1	Kesimpulan .....	59
DAFTAR PUSTAKA	.....	61

BIODATA PENULIS.....65

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3. 1</b> Skema diagram alir penelitian tugas akhir .....	20
<b>Gambar 3. 2</b> Gambar geometri gerbong MC <i>duct</i> persegi panjang .....	43
<b>Gambar 3. 3</b> Gambar geometri gerbong T <i>duct</i> persegi panjang .....	44
<b>Gambar 3. 4</b> Gambar geometri gerbong MC <i>duct</i> lingkaran .....	44
<b>Gambar 3. 5</b> Gambar geometri gerbong T <i>duct</i> lingkaran .....	44
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Meshing</i> pada gerbong MC .....	45
<b>Gambar 4. 1</b> Kontur distribusi temperatur pada gerbong MC <i>duct</i> bentuk persegi panjang .....	53
<b>Gambar 4. 2</b> Kontur distribusi temperatur pada gerbong T <i>duct</i> bentuk persegi panjang .....	54
<b>Gambar 4. 3</b> Psikometrik gerbong LRT MC .....	55
<b>Gambar 4. 4</b> Psikometrik gerbong LRT T .....	55
<b>Gambar 4. 5</b> Kontur distribusi temperatur pada gerbong MC <i>duct</i> lingkaran .....	56
<b>Gambar 4. 6</b> Kontur distribusi temperatur pada gerbong T <i>duct</i> lingkaran .....	56
<b>Gambar 4. 7</b> Psikometrik gerbong LRT MC .....	57
<b>Gambar 4. 8</b> Psikometrik gerbong LRT T .....	58

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Data Parameter Masukan Desain <i>Cooling Load</i> .....	20
<b>Tabel 3. 2</b> Beban Panas yang Dihasilkan oleh Kaca pada LRT Gerbong MC.....	21
<b>Tabel 3. 3</b> Beban Panas yang Dihasilkan oleh Kaca pada LRT Gerbong T .....	22
<b>Tabel 3. 4</b> Beban Panas yang Dihasilkan oleh Dinding dan Atap pada LRT Gerbong MC.....	23
<b>Tabel 3. 5</b> Beban Panas yang Dihasilkan oleh Dinding dan Atap LRT Pada Gerbong T .....	23
<b>Tabel 3. 6</b> Beban Panas yang Dihasilkan oleh Internal Pada LRT Gerbong MC.....	24
<b>Tabel 3. 7</b> Beban Panas yang Dihasilkan oleh Internal pada LRT Gerbong T .....	24
<b>Tabel 3. 8</b> <i>Outdoor Air Quantity</i> pada LRT Gerbong MC .....	25
<b>Tabel 3. 9</b> <i>Outdoor Air Quantity</i> pada LRT Gerbong T .....	25
<b>Tabel 3. 10</b> Beban Panas yang Dihasilkan selain pada Dinding dan Atap pada LRT Gerbong MC.....	26
<b>Tabel 3. 11</b> Beban Panas yang Dihasilkan selain pada Dinding dan Atap pada LRT Gerbong T.....	26
<b>Tabel 3. 12</b> Beban Kalor Laten Infiltrasi .....	29
<b>Tabel 3. 13</b> <i>Room Latent Heat Gain Total</i> LRT pada gerbong MC .....	30
<b>Tabel 3. 14</b> <i>Room Latent Heat Gain Total</i> LRT pada gerbong T .....	30
<b>Tabel 3. 15</b> Nilai <i>Air Quantity</i> dan <i>Enthalpy</i> diluar Kereta dan didalam Kereta (Gerbong MC dan T) .....	33
<b>Tabel 3. 16</b> <i>Cooling Load</i> LRT MC .....	35
<b>Tabel 3. 17</b> <i>Cooling Load</i> LRT T .....	36
<b>Tabel 3. 18</b> Ukuran Saluran Udara LRT.....	40
<b>Tabel 3. 19</b> Ukuran Saluran Udara LRT pada Gerbong MC .....	41
<b>Tabel 3. 20</b> Ukuran Saluran Udara LRT pada Gerbong T .....	42
<b>Tabel 3. 21</b> Tabel Ukuran Kereta LRT .....	43
<b>Tabel 3. 22</b> Parameter <i>Boundary Condition</i> .....	46

<b>Tabel 4. 1</b> <i>Cooling Load</i> LRT MC.....	50
<b>Tabel 4. 2</b> <i>Cooling Load</i> LRT T .....	51





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kemacetan lalu lintas saat ini sudah menjadi perkara umum yang dihadapi Pemerintah. Tidak hanya terjadi di ibu kota saja, kemacetan pun saat ini juga menjamur di kota-kota besar. Beberapa upaya sudah dilakukan Pemerintah guna mengurangi angka kemacetan seperti menyediakan jenis transportasi umum yang beragam kepada masyarakat. Salah satu transportasi umum yang tersedia yaitu kereta api. Sesuai dengan Undang-undang RI No. 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian, dikatakan bahwa transportasi mempunyai peranan yang penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi pada suatu wilayah, pengembangan suatu wilayah, dan pemersatu suatu wilayah yaitu Negara Kesatuan Republik Indonesia dalam rangka mewujudkan wawasan nusantara, berdasarkan Pancasila dan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia tahun 1945 (UU Perkeretaapian, 2007). Dan salah satu transportasi umum jenis kereta api yang saat ini sedang dikembangkan oleh Pemerintah yaitu LRT atau *Light Rail Transit*.

LRT adalah salah satu transportasi umum jenis kereta ringan yang menggunakan tenaga listrik sebagai penggerakannya sehingga tidak menghasilkan polusi dengan kapasitas penumpang yang banyak. Di Indonesia sendiri, pembangunan moda transportasi darat ini akan mulai dilakukan di dua kota yaitu Jakarta dan Palembang. LRT akan memiliki jalur sendiri yaitu jalur layang sehingga nantinya diharapkan LRT tidak akan mengganggu pengguna jalan di jalan raya. Dalam melakukan suatu perancangan kondisi transportasi umum khususnya kereta dibutuhkan beberapa tolok ukur yaitu keselamatan, keamanan, kejangkauan, dan kenyamanan termal (Widhiyanti, 2012). Kenyamanan termal adalah sebuah kondisi pemikiran yang mengekspresikan kepuasan atas lingkungan termalnya, sehingga dapat dikatakan nyaman apabila 90% responden terukur mengatakan nyaman secara termal (ASHRAE, 1992).

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 (Lippmeier,1980). Untuk mendapatkan suatu kenyamanan termal pada penumpang khususnya kereta, maka sirkulasi udara pada ruangan atau gerbong tersebut harus diperhatikan. Fungsi dari *ducting* yaitu untuk mendistribusikan udara didalam suatu ruangan, dalam hal ini pada gerbong kereta. Pendistribusian udara yang baik dan merata dapat disimulasikan pada *Computational Fluid Mechanic* (CFD). CFD digunakan dalam industri dan penelitian sama-sama 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.

Adapun penelitian yang sudah dilakukan yaitu cara meningkatkan kenyamanan termal pada kereta dengan melakukan optimisasi pada *ducting* ventilasi. Aliran udara yang digunakan dibuat seragam dan parameter yang digunakan untuk mendesain yaitu 2k factorial dengan mengontrol rasio bukaan pelat berlubang dan bentuk dari *guide vane* (Joon hyung kim, kim hyun rho, 2015). Agar kondisi didalam kereta dapat sesuai seperti yang diinginkan maka dapat dilakukan dengan menentukan parameter teknis yang hendak digunakan pada kereta, sehingga kenyamanan termal dalam kereta terbentuk seperti yang diinginkan. Adapun dalam penelitian ini parameter yang digunakan untuk kenyamanan termal pada kereta yaitu tekanan, suhu, dan kelembaban relatif. Parameter teknis yang digunakan untuk kenyamanan termal pada kereta yaitu lokasi, kecepatan udara, dan arah udara. (T. Berlitz, G. matschke, 2002).

Pada penelitian ini penulis akan menganalisa kenyamanan termal pada gerbong *Light Rail Transit* (LRT) Palembang terhadap variasi bentuk *ducting* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sehingga dapat diketahui kenyamanan termal yang baik untuk gerbong LRT.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Berapakah nilai beban pendinginan atau *Cooling Load* pada *Light Rail Transit* (LRT)?
- b. Bagaimana kenyamanan termal pada gerbong *Light Rail Transit* (LRT) Palembang terhadap variasi bentuk *ducting* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui nilai beban pendinginan atau *Cooling Load* pada *Light Rail Transit* (LRT)
- b. Mendapatkan tingkat kenyamanan termal pada *Light Rail Transit* (LRT) Palembang berdasarkan variasi bentuk *ducting* menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Bentuk *duct* dipilih yaitu persegi panjang dan lingkaran.
2. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kenyamanan termal berupa temperatur dan kecepatan rata-rata udara yang mengenai penumpang pada *Light Rail Transit* (LRT) Palembang dengan variasi bentuk *ducting*
3. Kereta yang digunakan jenis kereta penumpang untuk wilayah Palembang.

## 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, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

b. **BAB II TEORI PENUNJANG**

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu *cooling load*, saluran udara, dan sebagainya.

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari 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 LRT, serta analisis dari simulasi yang sudah dilakukan. Hasil pengolahan data pengukuran ini juga akan disesuaikan dengan standarisasi 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**

#### **2.1 Sistem Refrigerasi**

Sistem 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). Pengertian dari refrigerasi sendiri adalah suatu proses ekstraksi panas dari sumber panas, substansi atau media pendingin dengan temperatur rendah dan mengirimkan panas tersebut ke substansi dengan panas yang temperaturnya lebih tinggi (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 fasanya 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 terdiri dari kompresor, kondensor, *expansion device*, evaporator.

a. **Kompresor**

Kompresor berfungsi untuk mengkompresi refrigeran uap agar tekanan meningkat saat memasuki kondensor. Kompresor bekerja secara isentropik (tanpa ada energi panas yang keluar ataupun masuk).

b. **Kondensor**

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

c. *Expansion device*

*Expansion device* berfungsi untuk menurunkan tekanan serta mengatur laju aliran massa refrigeran.

d. Evaporator

Evaporator berfungsi untuk menyerap panas dari ruangan. Panas diserap dan dialirkan melalui *heat exchanger* kemudian dipindahkan ke refrigeran. Pada saat panas diserap, maka entalpi pada refrigeran akan meningkat. Semakin tinggi kenaikan entalpi pada refrigeran pada evaporator maka semakin baik kinerja perangkat pendingin udara yang digunakan.

Sistem penyejuk udara pada kereta biasanya berupa unit elektromekanik dengan evaporator dengan jenis *direct expansion*. Jenis refrigeran yang saat ini sering dan banyak digunakan adalah R134a. Sistem refrigerasi kompresi uap sederhana pada kereta umumnya terdiri dari unit-unit evaporator, kompresor, kondensor dan katup ekspansi. Tipe sistem penyejuk udara atau AC yang digunakan pada kereta LRT Palembang yaitu jenis AC sentral atau paket. AC sentral atau paket yaitu sistem penyejuk udara dimana kompresor, kondensor, dan evaporator berada dalam satu unit dan diletakkan didalam kabin atau gerbong ataupun di atap dari masing-masing gerbong. Adapun tipe AC yang akan digunakan pada kereta LRT Palembang yaitu tipe ACI-4001. Untuk spesifikasi dari ACI-4001 adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Spesifikasi ACI-4001

No	Parameters	ACI-4001 INKA
1.	Kapasitas Pendinginan	40,000 kcal/h Dengan Kondisi: - Temp. Inlet Kondensor Koil : 35°C - Temp. Outlet Evaporator Koil: 27°C - RH: 65%
2	Power Supply	- Main : 380-415V 3~ 50Hz

		- Control : 220V 1~ 50Hz
3.	Power Consumption	18.7 kW (max)
4.	Air Flow	- Supply Air : 90 m <sup>3</sup> /min - Return Air : 64 m <sup>3</sup> /min - Fresh Air : 26 m <sup>3</sup> /min
5.	Temp. Operasi Maksimum	40°C

## 2.2 Cooling Load atau Beban Pendinginan

*Cooling load* atau beban pendinginan adalah beban dingin yang dibutuhkan oleh 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 fasa. Kalor laten merupakan beban panas yang menyebabkan terjadinya perubahan fasa tanpa mengubah temperatur.

### 2.2.1 Kalor Sensibel

Kalor sensibel merupakan panas yang menyebabkan terjadinya kenaikan/penurunan temperatur tanpa merubah fasa. Kalor sensibel dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan asal beban panasnya, yakni beban panas eksternal dan beban panas internal. Beban panas eksternal yaitu perpindahan kalor melalui kaca, perpindahan melalui dinding dan atap, dan perpindahan kalor selain melalui dinding dan atap. Untuk beban panas internal yaitu penumpang, peralatan listrik, peralatan yang menimbulkan panas.

#### 2.2.1.1 Perpindahan Kalor Melalui Kaca

Perpindahan kalor yang dihasilkan oleh kaca disebabkan oleh radiasi matahari yang diserap material kaca karena adanya perbedaan temperatur antara kondisi di dalam

kereta dengan kondisi di luar ruangan. Beban panas (*heat gain*) melalui kaca dihitung ketika perpindahan panas terbesar terjadi. Besarnya beban panas dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{glass} = SCL \times SC \times CF \times A \quad (2.1)$$

Dimana : SCL = *Solar Cooling Load* (Btu/hr ft<sup>2</sup>)  
 SC = *Shading Coefficient*  
 CF = *Correction Factor*  
 A = Luas Jendela (ft<sup>2</sup>)

Beban panas yang dihasilkan oleh kaca kereta dihitung berdasarkan posisi masing – masing jendela, sehingga untuk memperoleh Beban panas total (*total heating load*) adalah dengan menjumlahkan beban panas yang dihasilkan masing – masing jendela sebagai berikut :

$$Q_{glass\ total} = Q_{north} + Q_{south} + Q_{west} + Q_{east} \quad (2.2)$$

Dimana : Q<sub>north</sub> = Posisi jendela yang menghadap utara  
 Q<sub>south</sub> = Posisi jendela yang menghadap selatan  
 Q<sub>west</sub> = Posisi jendela yang menghadap barat  
 Q<sub>east</sub> = Posisi jendela yang menghadap timur

### 2.2.1.2 Perpindahan Kalor Melalui Dinding dan Atap

Beban panas (*heat gain*) yang dihasilkan oleh dinding juga terjadi ketika beban panas terbesar terjadi selama kereta beroperasi. Perpindahan panas pada dinding juga diakibatkan oleh radiasi matahari yang diserap material dinding. Besarnya beban panas pada dinding dan atap dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{wall,roof} = A \times U \times (\Delta T_{es} + \Delta T_{em}) \quad (2.3)$$

Dimana : A = Luas atap atau dinding (ft<sup>2</sup>)  
 U = Nilai Konduktansi Bahan (Btu/ft<sup>2</sup>°F hr)  
 ΔT<sub>es</sub> = Beda temperatur pada dinding atau atap yang teduh (°F)

$\Delta T_{em}$  = Beda temperatur pada dinding atau atap yang menghadap datangnya matahari pada hari dan waktu yang direncanakan dan dikoreksi ( $^{\circ}F$ )

Beban panas yang dihasilkan oleh dinding serta atap kereta api dihitung berdasarkan posisi masing – masing dinding, sehingga untuk memperoleh beban panas total (*total heating load*) adalah dengan menjumlahkan beban panas yang dihasilkan masing – masing dinding sebagai berikut :

$$Q_{total} = Q_{wall\ 1} + Q_{wall\ 2} + Q_{wall\ 3} + Q_{wall\ 4} + Q_{roof} \quad (2.4)$$

### 2.2.1.3 Beban Panas Internal

Beban panas internal merupakan beban panas yang disebabkan oleh penumpang dan peralatan listrik atau peralatan yang menghasilkan panas. *Sensible heat* yang disebabkan oleh penumpang dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$Q_{human} = n \times Q_s \times CLF \quad (2.5)$$

Dimana :  $n$  = Jumlah Penumpang  
 $Q_s$  = Beban panas sensibel pada manusia (Btu/hr)  
 $CLF$  = *Cooling Load Factor* (dianggap 1)

Besarnya *Sensible heat* pada lampu dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$Q_{lamp} = 3,412 \times n \times F_s \times F_u \times CLF \quad (2.6)$$

Dimana :  $n$  = Jumlah Lampu yang terpasang (Watts)  
 $F_s$  = *Special Allowance Factor* = 1,20  
 $F_u$  = *Lighting use Factor*  
 $CLF$  = *Cooling Load Factor* (dianggap 1)

Besarnya *Sensible heat* pada peralatan pada kereta dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$Q_{tool} = n \times Q_s \quad (2.7)$$

Dimana :  $n$  = Jumlah Peralatan  
 $Q_s$  = Beban panas sensibel pada peralatan (Btu/hr)

Total beban panas internal yang didapat adalah sebagai berikut :

$$Q_{int. total} = Q_{human} + Q_{Lamp} + Q_{tool} \quad (2.8)$$

#### 2.2.1.4 Outdoor Air Quantity

Variabel ini mendefinisikan jumlah pergantian udara dari luar kereta atau dapat disebut sebagai kerugian akibat saluran udara seperti ventilasi, pintu yang terbuka, celah - celah dll. Pergantian udara yang disebabkan oleh ventilasi diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah penumpang dan bukaan pada ruangan tersebut, *ventilation air quantity* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{human} = n \times CFM \quad (2.9)$$

Dimana :  $n$  = Jumlah Penumpang  
 $CFM$  = Laju Pertukaran Udara pada masing-masing Orang

$$Q_{room} = A \times CFM \quad (2.10)$$

Dimana :  $A$  = Luas Ruangan (ft<sup>2</sup>)  
 $CFM$  = Laju Pertukaran Udara pada tiap Luasan

Sehingga :

$$cfm_{va} = Q + Q_{room} \quad (2.11)$$

Dimana :  $cfm_{va}$  = *Ventilation Air Quantity* (CFM)

Sedangkan kerugian yang disebabkan oleh celah – celah atau pintu yang terbuka digolongkan kedalam infiltrasi, berikut merupakan persamaannya :

$$CFM_{ia} = (L \times CFM_{crack}) + CFM_{fan air} + CFM_{open door} + CFM_{exhaust fan air} \quad (2.12)$$

Dimana :  $cfm_{ia}$  = *Infiltration Air Quantity* (CFM)  
 L = Lebar Celah (ft)

Sehingga dari beberapa persamaan di atas didapatkan besarnya *Outdoor Air Quantity* adalah sebagai berikut :

$$cfm_{oa} = cfm_{va} + cfm_{ia} \quad (2.13)$$

### 2.2.1.5 Perpindahan Kalor Selain Melalui Dinding dan Atap

Beban panas selain berasal dari atap dan dinding dapat juga berasal dari lantai serta celah – celah yang ada pada kereta api. Besarnya beban panas selain melalui dinding dan atap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{glass} = A \times U \times CLTD \quad (2.14)$$

Dimana : A = Luas kaca ,lantai atau partisi (ft<sup>2</sup>)  
 U = Koefisien Transmisi (Btu/ hr ft<sup>2</sup> F)  
 CLTD = Beda Temperatur di luar kereta dan di dalam kereta( $T_{out} - T_{in}$ ) (°F)

Sehingga transmisi beban panas total yang dihasilkan selain melalui dinding dan atap adalah sebagai berikut :

$$Q_{trans\ total} = Q_{glass} + Q_{floor} + Q_{partition} + Q_{infiltration} \quad (2.15)$$

Dimana :

$$Q_{infiltration} = 1,08 \times cfm_{ia} \times CLTD \quad (2.16)$$

Beban panas sensibel pada kereta adalah sebagai berikut :

$$SH = Q_{glass\ total} + Q_{trans\ total} + Q_{infiltration} \quad (2.17)$$

Beban panas ruangan atau *Room Sensible Heat* (RSH) total pada LRT dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$RSH = SH + (10\% \times SH) \quad (2.18)$$

Nilai *Outdoor Air Sensible Heat* (OASH) pada LRT yang diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$OASH = 1,08 \times cfm_{oa} \times \Delta t \quad (2.19)$$

Dimana :  $cfm_{oa}$  = *Outdoor air quantity* (CFM)  
 $\Delta t$  = Beda temperatur di luar kereta dan di dalam kereta ( $T_{out} - T_{in}$ ) ( $^{\circ}F$ )

Variabel lain yang diperlukan untuk menghitung *total sensible heat* adalah *Effective Room Sensible Heat* (ERSH) dengan persamaan sebagai berikut :

$$ERSH = RSH + (OASH \times bypass\ factor) \quad (2.20)$$

*Bypass factor* merupakan persentase dimana ketika udara melewati *coil* tidak mengalami perubahan. Pada LRT *bypass factor* bernilai 0,1.

Besar *Total Sensible Heat* adalah sebagai berikut :

$$TSH = RSH + OASH \quad (2.21)$$

## 2.2.2 Beban Kalor Laten

Kalor laten merupakan beban panas yang menyebabkan terjadinya perubahan fasa tetapi tidak merubah temperatur. Beban kalor laten hanya terdiri dari beban panas internal yang meliputi penumpang, peralatan, dan infiltrasi.

### 2.2.2.1 Beban Panas Internal

Selain menghasilkan beban kalor sensibel, penumpang dan peralatan listrik juga menghasilkan beban kalor laten. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung beban kalor laten yang dihasilkan oleh manusia, lampu maupun peralatan :

$$Q_{laten} = n \times Q_{laten}(human,tool,lamp) \quad (2.22)$$

Dimana :  $Q_{laten}(human,tool,lamp)$  = Beban panas latent (Btu/hr)

n = Jumlah Penumpang atau Peralatan

Sistem infiltrasi juga menjadi salah satu faktor yang dapat menghasilkan beban kalor laten, infiltrasi merupakan besarnya udara luar yang masuk ke dalam ruangan dan mempengaruhi suhu udara dan tingkat kelembaban di ruangan tersebut. Besarnya beban kalor laten dari infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{infiltration} = 0,68 \times CFM \times \Delta w \quad (2.23)$$

Dimana : CFM = Laju Pergantian Udara  
 $\Delta w$  = Rasio kelembaban Udara ( $w_{out} - w_{DB}$ ) (gr/lb)

Beban kalor laten dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{laten} = Q_{infiltration} + Q_{human} + Q_{tool} \quad (2.24)$$

Beban laten ruangan atau *Room Latent Heat* (RLH) total pada LRT dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$RLH = Q_{laten} + (10\% \times Q_{laten}) \quad (2.25)$$

Nilai *Outdoor Air Latent Heat* (OALH) pada LRT yakni dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$OALH = 0,68 \times cfm_{oa} \times \Delta w \quad (2.26)$$

Dimana :  $cfm_{oa}$  = *Outdoor air quantity* (CFM)  
 $\Delta w$  = Beda kelembaban relative di luar kereta dan di dalam kereta ( $w_{out} - w_{in}$ ) (gr/lb)

Sedangkan untuk nilai *Effective Room Latent Heat* (ERLH) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$ERLH = RLH + (OALH \times bypass\ factor) \quad (2.27)$$

Sehingga besar *Total Latent Heat* adalah sebagai berikut:

$$TLH = RLH + OALH \quad (2.28)$$

Untuk mendapatkan nilai *Effective Room Total Heat* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$ERTH = ERSH + ERLH \quad (2.29)$$

### 2.2.3 Total Beban Kalor

Total beban kalor merupakan salah satu acuan dalam memilih jenis serta daya pendingin yang tepat pada LRT. Salah satu variabel yang digunakan untuk menghitung Total beban kalor atau *grand total heat* adalah *dehumidified air quantity* yang dapat ditentukan dengan persamaan di bawah :

$$cfm_{da} = \frac{ERSH}{(1,08 \times (1 - \text{bypass factor}) \times (t_{DB} - t_{ad}))} \quad (2.30)$$

Dimana : ERSH = *Effective Room Sensible Heat* (Btu/hr)  
 $cfm_{da}$  = *Dehumidified Air Quantity* (CFM)  
 $t_{DB}$  = *Dry Bulb Temperature* (°F)  
 $t_{ad}$  = *Apparatus Dewpoint Temperature* (°F)

Nilai *Apparatus Dewpoint Temperature* didapatkan dari tabel 65 halaman 145 – 147 *Carrier handbook* dengan menggunakan *dry bulb temperature* dan *effective sensible heat* (ESHF) sebagai variabel penentu. Besarnya *Effective Sensible Heat Factor* (ESHF) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah :

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERSH + ERLH} \quad (2.31)$$

Dari beberapa persamaan di atas kemudian dapat diperoleh nilai beban kalor total sebagai berikut :

$$GTH = 4,45 \times cfm_{da} \times (h_{ea} - h_{la}) \quad (2.32)$$

Dimana :  $h_{ea}$  = *Entering Air Enthalpy* (Btu/lb)  
 $h_{la}$  = *Leaving Air Enthalpy* (Btu/lb)

*Entering Air Enthalpy* merupakan minimum entalpi yang masuk ke dalam LRT, nilainya diperoleh berdasarkan persamaan berikut :

$$h_{ea} = \frac{(cfm_{oa} \times h_{oa}) + (cfm_{ra} \times h_{ra})}{cfm_{sa}} \quad (2.33)$$

Dimana :  $h_{oa}$  = *Outdoor Air Enthalpy* (Btu/lb)  
 $cfm_{ra}$  = *Return Air Quantity* (CFM)  
 =  $cfm_{sa} - cfm_{oa}$   
 $h_{ra}$  = *Room Air Enthalpy* (Btu/lb)  
 $cfm_{sa}$  = *Supply Air Quantity* (CFM)

Nilai *Supply Air Quantity* diasumsikan sama dengan *Dehumidified Air Quantity* karena pada kondisi *apparatus* dianggap tidak ada aliran udara yang masuk pada ruangan.

*Leaving Air Enthalpy* merupakan besarnya entalpi yang keluar dari LRT, nilainya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$h_{la} = h_{ad} + \text{bypass factor}(h_{ea} - h_{ad}) \quad (2.34)$$

Dimana :  $h_{ad}$  = *Apparatus Dewpoint Enthalpy* (Btu/lb)

### 2.3 Ducting atau Saluran Distribusi Udara

*Ducting* saluran distribusi udara merupakan alat yang digunakan untuk mendistribusikan udara dalam suatu ruangan (sistem saluran udara). Komponen dalam sistem saluran udara dapat dikategorikan menjadi lima yaitu:

1. Saluran langsung ke menyampaikan udara ke depan
2. Siku untuk mengubah arah pergerakan udara
3. Peredam untuk menyesuaikan tingkat aliran udara dengan menghalangi sebagian aliran udara
4. *T-junction* dan lintas persimpangan untuk mendistribusikan aliran udara ke beberapa cabang
5. Fan untuk mendorong pergerakan udara

Penempatan sistem distribusi udara yang umum digunakan adalah saluran (*ducting*) berada ditengah kabin diantara langit-langit dan atap, sepanjang kabin atau gerbong tersebut. Tetapi ada pula yang ditempatkan pada sisi-sisi gerbong diatas kursi penumpang. *Grill* atau *diffuser* resirkulasi biasanya ditempatkan

dibawah unit evaporator. Agar tidak terjadi kebocoran termal dan kondensasi saluran maka *supply* harus diinsulasi dengan baik.

Metode *sizing* yang digunakan untuk merancang suatu sistem *ducting* yaitu:

- a. *Velocity reduction* (mengukur *ducting* dengan memvariasikan kecepatan dalam saluran utama dan cabang).
- b. *Equal friction rates* (mengukur *ducting* dengan *friction rate* yang konstan yang mana menjelaskan *pressure drop* rata-rata per 100 feet dari *ducting* pada sistem). Pada dasarnya dalam menentukan ukuran dari *ducting*, terlebih dahulu dapat ditentukan laju gesekan (*friction rate*) per penjangnya *ducting* dan menjaganya tetapi konstan untuk setiap sistem saluran udara. Nilai gesek yang dipilih atau ditentukan berdasarkan kecepatan maksimum yang diizinkan pada *ducting* utama.
- c. *Static regain* (mengukur *ducting* dengan proses convert *Velocity Pressure* (VP) menjadi *Static Pressure* (SP). Pada dasarnya dalam menentukan ukuran *ducting* untuk mengurangi kecepatan pada setiap cabang (*branch*), maka tekanan static dinaikkan sehingga dapat cukup menjaga *pressure loss* sampai cabang berikutnya. Oleh karena itu, tekanan statik sebelum tiap terminal dan pada cabang adalah sama.

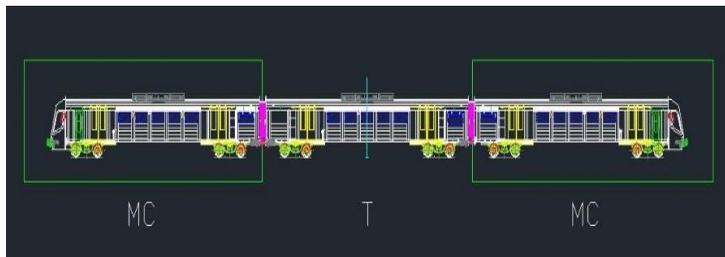
#### **2.4 Light Rail Transit (LRT)**

LRT (*Light Rail Transit*) atau kereta api ringan adalah salah satu sistem kereta api penumpang yang beroperasi dikawasan perkotaan dengan konstruksi ringan dan dapat berjalan bersama lalu lintas lain atau dalam lintasan khusus, yang disebut tram. LRT banyak digunakan di berbagai negara di Eropa dan telah banyak mengalami modernisasi, antara lain dengan otomatisasi, sehingga dapat dioperasikan tanpa masinis, dapat beroperasi pada lintasan khusus, penggunaan lantai yang rendah (sekitar 30 cm) yang disebut sebagai *Low floor* LRT untuk mempermudah naik turun penumpang.

Lintasan LRT yaitu berbentuk rel dialiri listrik yang telah cepat yang sebagian dioperasikan pada jalurnya sendiri. Trem merupakan kereta yang memiliki rel khusus di dalam kota,

dengan waktu yang telah diatur antara 5-10 menit keberangkatan. Rangkaian trem umumnya terdiri dari satu set (dua kereta). LRT dikatakan *Light Rail* karena memakai kereta ringan dengan berat sekitar 20 ton seperti bus, hal ini berbeda dengan berat kereta pada umumnya yaitu 40 ton.

Pada penelitian ini, kereta yang digunakan yaitu LRT yang akan dioperasikan di Palembang. Posisi geografis dari pengoperasian kereta LRT Palembang yaitu berada pada 10 derajat Lintang Utara. Gerbong yang digunakan yaitu 3 gerbong dengan masing-masing untuk gerbong penumpang dengan masinis disebut gerbong MC sedangkan untuk gerbong penumpang disebut gerbong T. jumlah kapasitas dari gerbong MC untuk penumpang berjumlah 118 dengan 40 kursi dan 78 berdiri. Jumlah kapasitas dari gerbong T untuk penumpang berjumlah 137 dengan 48 kursi dan 89 berdiri. Berikut ini adalah data yang didapatkan untuk kereta LRT Palembang.



**Gambar 2.0.1** Desain LRT Palembang

## 2.5 *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan ilmu yang digunakan untuk memprediksi aliran fluida, transfer massa dan panas, dan fenomena lain. Geometri yang disimulasikan akan dibagi menjadi bagian – bagian kecil yang disebut dengan kontrol volume. Di setiap kontrol volume ini akan dilakukan perhitungan matematis. Semakin banyak kontrol volume yang dibuat maka akan semakin banyak juga perhitungan yang dilakukan dan menyebabkan kerja komputer yang semakin berat.

Dalam melakukan simulasi menggunakan CFD, terdapat tiga tahapan yang harus dilaksanakan yaitu:

a. *Pre-Processing*

Pada tahap ini dilakukan pembentukan geometri yang akan di simulasikan dan pendefinisian *boundary condition*. Pembuatan geometri dapat menggunakan *software* GAMBIT, Solidwork, dan lain sebagainya yang merupakan *software* sejenis. Proses setelah geometri yaitu *meshing*, *meshing* adalah proses pembagian geometri menjadi kontrol volume kecil yang menjadi tempat perhitungan matematis. Semakin banyak kontrol volume yang dibuat maka akan semakin halus pula hasil yang didapatkan.

b. *Processing*

Pada tahap ini akan dihitung data – data yang sudah di masukan sebelumnya secara iterasi. Iterasi dilakukan hingga perhitungan konvergen dan memiliki *error* yang kecil.

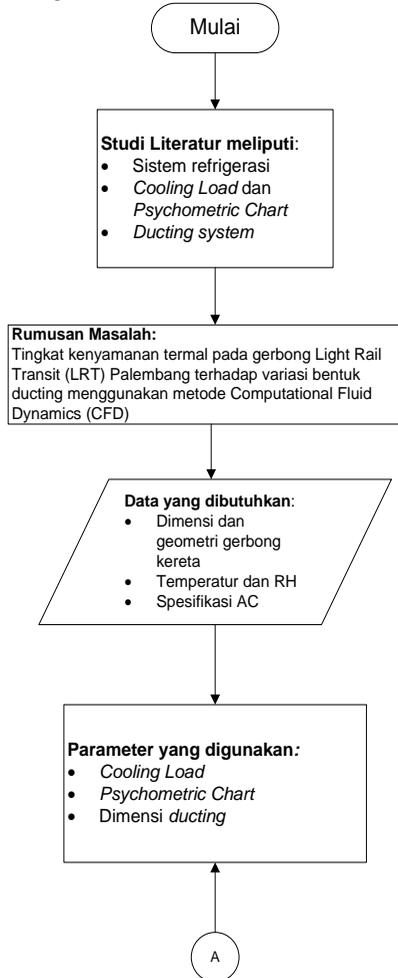
c. *Post-Processing*

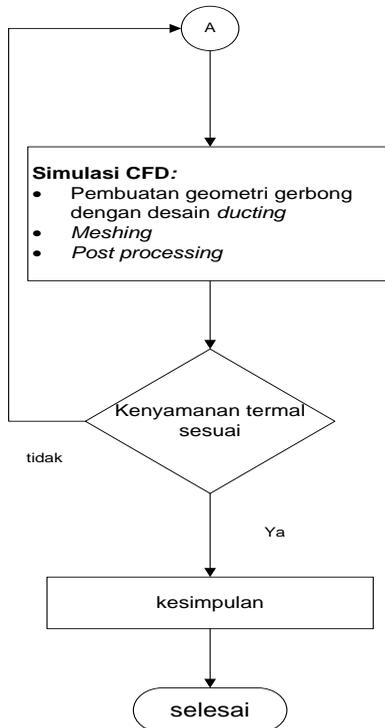
Tahap terakhir ini adalah tahap dimana data hasil perhitungan dapat dilihat dalam beberapa bentuk seperti grafik, gambar, dan animasi dengan pola warna tertentu.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian

Secara umum tahap-tahap pengerjaan tugas akhir ini dirangkum pada diagram alir berikut ini.





**Gambar 3. 1** Skema diagram alir penelitian tugas akhir

### 3.2 Pengumpulan Data Masukan Parameter Design

Data yang diperlukan untuk parameter masukan meliputi:

**Tabel 3. 1** Data Parameter Masukan Desain *Cooling Load*

Parameter	Nilai
Temperatur ruang atau <i>indoor Temperature</i> yang diinginkan	26°C atau 78,8°F
Temperatur luar atau <i>Outdoor Temperature</i>	35°C atau 95°F
Posisi geografis kota Palembang	10°LU
Pengoperasian kereta selama	12 jam (07.00-19.00 WIB)
Jumlah gerbong	3 buah (LRT T dan LRT MC1 MC2)

### 3.3 Perancangan Desain Sistem

#### 3.3.1 Beban Pendinginan atau *Cooling Load*

Dari parameter yang ada dilakukan penghitungan *cooling load*. Pada metode ini dihitung beban eksternal dan internal dalam kereta. Beban internal meliputi beban penumpang, beban peralatan, dan beban pencahayaan. Beban eksternal meliputi beban konduksi dari dinding, jendela, atap, dan lantai, beban radiasi jendela, beban partisi dari kereta, dan udara (infiltrasi).

#### 3.3.2 Kalor Sensibel

Adapun rincian *cooling load* kalor sensibel dari LRT pada gerbong MC dan T adalah sebagai berikut.

##### 3.3.2.1 Perpindahan Kalor melalui Kaca

Beban panas (*heat gain*) melalui kaca dihitung ketika perpindahan panas terbesar terjadi. Adapun besarnya beban panas melalui kaca pada LRT yang dihitung menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 adalah sebagai berikut.

**Tabel 3. 2** Beban Panas yang Dihasilkan oleh Kaca pada LRT Gerbong MC

Posisi	Peak Load	Factor		Beban Panas	
	Btu/hr ft <sup>2</sup>	Shade	Storage	Btu/hr	W
(depan) Utara	164	0,8	0,68	89,22	26,141
(belakang) Selatan	164	0,8	0	0	0
(kiri) Barat	164	0,8	0,76	99,71	29,215
(kanan) Timur	164	0,8	0,73	95,78	28,063
TOTAL				284,7	83,419

**Tabel 3. 3** Beban Panas yang Dihasilkan oleh Kaca pada LRT Gerbong T

Posisi	Peak Load	Factor		Beban Panas	
	Btu/hr ft <sup>2</sup>	Shade	Storage	Btu/hr	W
(depan) Utara	0	0	0	0	0
(belakang) Selatan	0	0	0	0	0
(kiri) Barat	164	0,8	0,76	99,71	29,215
(kanan) Timur	164	0,8	0,68	95,78	28,063
TOTAL				195,5	57,281

Sehingga, total beban panas yang dihasilkan oleh kaca dari LRT pada gerbong MC adalah sebesar 83,419 watt atau 284,7 Btu/hr. untuk total beban panas yang dihasilkan oleh kaca dari LRT pada gerbong T adalah sebesar 57,281 watt atau 195,5 Btu/hr.

### 3.3.2.2 Perpindahan Kalor melalui Atap dan Dinding

Pada LRT, elemen penyusun dinding adalah *aluminium alloy* atau *stainless steel* dengan berat 30 lb/ft<sup>2</sup>, sedangkan pada atap menggunakan material *plat metal* dengan ketebalan 1 inci dan berat 5 lb/ft<sup>2</sup>. Adapun besarnya beban panas pada dinding dan atap LRT yang dihitung menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4 adalah sebagai berikut.

**Tabel 3. 4** Beban Panas yang Dihasilkan oleh Dinding dan Atap pada LRT Gerbong MC

Posisi	Luas	Konduktansi	$\Delta T_{es}$	$\Delta T_{em}$	Beban Panas
	ft <sup>2</sup>	Btu/ft <sup>2</sup> °F hr	°F	°F	Btu/hr
Kanan	307,124	0,3	39	3	3593,4
Kiri	307,124	0,3	51	3	4699
Depan	37,0125	0,69	17	3	434,14
Belakang	58,766	0,3	0	3	52,889
Atap	263,5	0,67	17	3	529,84
<b>Total</b>					9309,2

**Tabel 3. 5** Beban Panas yang Dihasilkan oleh Dinding dan Atap LRT Pada Gerbong T

Posisi	Luas	Konduktansi	$\Delta T_{es}$	$\Delta T_{em}$	Beban Panas
	ft <sup>2</sup>	Btu/ft <sup>2</sup> °F hr	°F	°F	Btu/hr
Kanan	255,604	0,3	39	3	2990,6
Kiri	255,604	0,3	51	3	3910,7
Depan	58,766	0,69	17	3	689,33
Belakang	58,766	0,3	0	3	52,889
Atap	263,5	0,67	17	3	529,84
<b>Total</b>					8173,4

Sehingga, total beban panas yang dihasilkan oleh kaca dari LRT pada gerbong MC adalah sebesar 2.727,62 watt atau 9.309,2 Btu/hr. untuk total beban panas yang dihasilkan oleh kaca dari LRT pada gerbong T adalah sebesar 8.173,4 watt atau 2.394,8 Btu/hr.

### 3.3.2.3 Beban Panas Internal

Beban internal yang dihitung adalah beban penumpang, beban peralatan elektronik, dan beban pencahayaan. LRT memiliki 3 gerbong yaitu untuk gerbong penumpang dengan masinis dinamakan gerbong MC dan untuk gerbong khusus penumpang saja dinamakan gerbong T. Gerbong-gerbong tersebut mampu menampung penumpang hingga 118 penumpang untuk gerbong MC dan untuk gerbong T hingga 137 penumpang dengan asumsi aktivitas yang dilakukan adalah berdiri dan berjalan, penerangan yang digunakan pada LRT berupa lampu *flourescent* dengan daya 3503,2 watt, sedangkan pada kereta tidak terdapat peralatan yang menggunakan listrik atau menghasilkan panas sehingga nilai beban panas internal dapat dihitung dengan persamaan 2.5, 2.6, 2.7, dan 2.8 adalah sebagai berikut.

**Tabel 3. 6** Beban Panas yang Dihasilkan oleh Internal Pada LRT Gerbong MC

penumpang	23.600 Btu/hr
Lampu	14.889 Btu/hr
Internal heat load	38.489 Btu/hr
RSHG total	58.034,04 Btu/hr

**Tabel 3. 7** Beban Panas yang Dihasilkan oleh Internal pada LRT Gerbong T

penumpang	27.400 Btu/hr
lampu	14.889 Btu/hr
Internal heat load	42.289 Btu/hr
RSHG total	61.292,89 Btu/hr

Nilai  $Q_{\text{internal total}}$  untuk gerbong MC adalah sebesar 58.034,04 Btu/hr atau setara dengan 17.003,97 watt. Sedangkan Nilai  $Q_{\text{internal total}}$  untuk gerbong T adalah sebesar 61.292,89 Btu/hr atau setara dengan 17.958,81 watt.

### 3.3.2.4 Outdoor Air Quantity

Standar nilai CFM untuk penumpang yang menempuh perjalanan jauh adalah 8,8 tetapi untuk LRT penumpang diasumsikan hanya menempuh setengah perjalanan sehingga nilai CFM menjadi 4,4. Sedangkan nilai CFM untuk celah jendela menggunakan nilai CFM celah jendela dengan bingkai kayu dan berada pada daerah yang memiliki kecepatan angin rata – rata sebesar 5 m/jam. Adapun nilai *outdoor air quantity* LRT yang dihitung menggunakan persamaan 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, dan 2.13 adalah sebagai berikut.

**Tabel 3. 8 Outdoor Air Quantity** pada LRT Gerbong MC

Ventilation			Infiltration			Total (CFM)
	Jumlah / Luas (ft <sup>2</sup> )	CFM		Jumlah / Lebar (ft)	CFM	
Orang	118	4,4	<i>Crack</i>	7,750	0,12	520,13
Ruangan	-	-	Pintu	-	-	

**Tabel 3. 9 Outdoor Air Quantity** pada LRT Gerbong T

Ventilation			Infiltration			Total (CFM)
	Jumlah / Luas (ft <sup>2</sup> )	CFM		Jumlah / Lebar (ft)	CFM	
Orang	137	4,4	<i>Crack</i>	7,750	0,12	603,73
Ruangan	-	-	Pintu	-	-	

Sehingga, total nilai *outdoor air quantity* dari LRT pada gerbong MC adalah sebesar 520,13 CFM. Untuk total *outdoor air quantity* dari LRT pada gerbong MC adalah sebesar 520,13 CFM. Total nilai *outdoor air quantity* dari LRT pada gerbong T adalah sebesar 603,73 CFM.

### 3.3.2.5 Perpindahan Kalor selain melalui Dinding dan Atap

Kaca yang digunakan pada LRT adalah *double tempered glass* yang dilaminasi dengan anti UV 60%, sedangkan material penyusun lantai adalah *unitex* yang terdiri dari baja bergelombang pada bagian bawah dan *vinyl* pada permukaan. Temperatur di luar kereta dianggap konstan sebesar 95 °F dan temperatur di dalam kereta diatur pada suhu 78,8 °F. Besarnya beban panas selain melalui dinding dan atap dapat dihitung dengan persamaan 2.14, dan 2.15 sebagai berikut :

**Tabel 3. 10** Beban Panas yang Dihasilkan selain pada Dinding dan Atap pada LRT Gerbong MC

	Luas	Koefisien Transmisi	CLTD	Q	
	ft <sup>2</sup>	Btu/ hr ft <sup>2</sup> F	F	Btu/hr	W
Kaca	236,48	0,86	16,2	3.294,6	965,31
Lantai	312,02	0,27		1.364,8	399,88
<b>Total</b>				4.659,4	2.330,11

**Tabel 3. 11** Beban Panas yang Dihasilkan selain pada Dinding dan Atap pada LRT Gerbong T

	Luas	Koefisien Transmisi	CLTD	Q	
	ft <sup>2</sup>	Btu/ hr ft <sup>2</sup> F	F	Btu/hr	W
Kaca	258	0,86	16,2	3.593,1	1.052,77
Lantai	312,02	0,27		1.364,8	399,88
<b>Total</b>				4.957,9	1.452,66

Sehingga total Beban kalor transmisi pada LRT gerbong MC yaitu sebesar 4.675,7 Btu/hr atau 2.330,11 Watt. Total beban kalor transmisi pada LRT gerbong T yaitu sebesar 4.957,9 Btu/hr atau 1.452,66 Watt. Sehingga dengan persamaan 2.17 nilai *Sensible heat* pada LRT gerbong MC

adalah sebesar 52.758,3 Btu/hr atau setara dengan 15458,18 watt. Nilai *Sensible heat* pada LRT gerbong T adalah sebesar 55.720,81 Btu/hr atau setara dengan 16.326,19 watt. Nilai beban panas ruangan atau *Room Sensible Heat* (RSH) total pada LRT dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$RSH = 52.758,3 + (10\% \times 52.758,3)$$

$$RSH = 58.034,04 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai beban panas ruangan adalah sebesar 58.034,04 Btu/hr atau setara dengan 17.003,97 watt.

$$RSH = 55.720,81 + (10\% \times 55.720,81)$$

$$RSH = 61.292,89 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai beban panas ruangan adalah sebesar 61.292,89 Btu/hr atau setara dengan 17.897,52 watt.

Nilai *Outdoor Air Sensible Heat* (OASH) dari LRT pada gerbong MC yakni sebesar 9.100,19 Btu/hr yang diperoleh berdasarkan persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$OASH = 1,08 \times 16,2 \times 520,13$$

$$OASH = 9.100,19 \text{ Btu/hr}$$

Nilai *Outdoor Air Sensible Heat* (OASH) dari LRT pada gerbong T yakni sebesar 10.562,86 Btu/hr yang diperoleh dari:

$$OASH = 1,08 \times 16,2 \times 603,73$$

$$OASH = 10.562,86 \text{ Btu/hr}$$

Nilai *total sensible heat* adalah *Effective Room Sensible Heat* (ERSH) dari LRT pada gerbong MC dan T dengan persamaan 2.20 sebagai berikut :

$$ERSH = 58.034,04 + (9.100,19 \times 0,1)$$

$$ERSH = 58.944,061 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Effective Room Sensible Heat* (ERSH) dari LRT pada gerbong MC yaitu 58.944,061 Btu/hr.

$$ERSH = 61.292,89 + (10.562,86 \times 0,1)$$

$$ERSH = 62.349,18 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Effective Room Sensible Heat* (ERSH) dari LRT pada gerbong T yaitu 58.944,061 Btu/hr.

*Bypass factor* merupakan persentase dimana ketika udara melewati *coil* tidak mengalami perubahan. Pada LRT *bypass factor* bernilai 0,1.

Besar *Total Sensible Heat* adalah sebagai berikut :

$$TSH = 58.034,04 + 9.100,19$$

$$TSH = 67.134,23 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Total Sensible Heat* dari LRT pada gerbong MC yaitu 58.944,061 Btu/hr.

$$TSH = 10.562,86 + 61.292,89$$

$$TSH = 71.855,75 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Total Sensible Heat* dari LRT pada gerbong MC yaitu 71.855,75 Btu/hr

### 3.3.3 Beban Kalor Laten

Adapun rincian *cooling load* kalor laten dari LRT pada gerbong MC dan T adalah sebagai berikut.

#### 3.3.3.1 Beban Panas Internal

Adapun beban panas internal yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan 2.22 sebagai berikut.

$$Q_{\text{penumpang}} = 118 \times 250$$

$$Q_{\text{penumpang}} = 29.500 \text{ Btu/hr}$$

Adapun nilai *Ratio Latent Heat Gain* untuk jumlah penumpang dari LRT pada gerbong MC yaitu sebesar 29.500 Btu/hr.

$$Q_{\text{penumpang}} = 137 \times 250$$

$$Q_{\text{penumpang}} = 34.250 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Ratio Latent Heat Gain* untuk jumlah penumpang dari LRT pada gerbong T yaitu sebesar 34.250 Btu/hr.

Besarnya beban kalor laten dari infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan 2.23 sebagai berikut.

$$Q_{infiltrasi} = 0,68 \times 0,93 \times (230 - 96,39)$$

$$Q_{infiltrasi} = 84,49 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Latent load* infiltrasi dari LRT pada gerbong MC dan T yaitu sebesar 84,49 Btu/hr.

Dari *psychometric chart* didapatkan nilai *absolute humidity* pada suhu *dry bulb* 78,8°F dengan RH 65% yakni sebesar 96,3907 gr/lb. Sedangkan pada suhu *outdoor* 95°F dan *relative humidity* 90% didapatkan nilai *absolute humidity* sebesar 230 gr/lb.

**Tabel 3. 12** Beban Kalor Laten Infiltrasi

Infiltration	W <sub>out</sub>	W <sub>DB</sub>	CFM	Q <sub>l</sub>
	gr/lb	gr/lb		Btu/hr
	230	96,3907		0,93

Sehingga besarnya beban panas atau kalor laten dapat dihitung dengan persamaan 2.24 sebagai berikut :

$$Q_{laten} = 84,49 + 29.500 + 0$$

$$Q_{laten} = 29.584 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai total *Ratio Latent Heat Gain* dari LRT pada gerbong MC yaitu sebesar 28.584 Btu/hr.

$$Q_{total} = Q_{infiltrasi} + Q_{manusia} + Q_{Peralatan}$$

$$Q_{total} = 84,49 + 34.250 + 0$$

$$Q_{total} = 34.334 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai total *Ratio Latent Heat Gain* dari LRT pada gerbong T yaitu sebesar 34.334 Btu/hr.

**Tabel 3. 13** *Room Latent Heat Gain Total* LRT pada gerbong MC

Sumber	Q
	Btu/hr
Manusia	29.500
Peralatan	0
Infiltrasi	84,4945
<b>Total</b>	29.584

**Tabel 3. 14** *Room Latent Heat Gain Total* LRT pada gerbong T

Sumber	Q
	Btu/hr
Manusia	34.250
Peralatan	0
Infiltrasi	84,4945
<b>Total</b>	34.334

Beban panas ruangan atau *Room Latent Heat* (RLH) total pada LRT dapat dihitung menggunakan persamaan 2.25 sebagai berikut :

$$RLH = 29.584 + (10\% \times 29.584)$$

$$RLH = 32.542,94 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Room Latent Heat* (RLH) adalah sebesar 32.542,94 Btu/hr atau setara dengan 9.535,08 watt.

$$RLH = 34.334 + (10\% \times 34.334)$$

$$RLH = 37.767,94 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Room Latent Heat* (RLH) adalah sebesar 37.767,94 Btu/hr atau setara dengan 11.066,003 watt.

Nilai *Outdoor Air Latent Heat* (OALH) dapat diketahui berdasarkan persamaan 2.26 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} OALH &= 0,68 \times 520,13 \times 84,49 \\ OALH &= 29.884,73 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *Outdoor Air Latent Heat* (OALH) dari LRT gerbong MC yakni sebesar 29.884,73 Btu/hr.

$$\begin{aligned} OALH &= 0,68 \times 603,73 \times 84,49 \\ OALH &= 34.688,07 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *Outdoor Air Latent Heat* (OALH) dari LRT gerbong MC yakni sebesar 34.688,07 Btu/hr.

Untuk nilai *Effective Room Latent Heat* (ERLH) dari LRT gerbong MC yaitu:

$$\begin{aligned} ERLH &= 32.542,943 + (29.884,73 \times 0,1) \\ ERLH &= 35.531,41 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *Total Latent Heat* dari LRT pada gerbong MC adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TLH &= 32.542,943 + 29.884,73 \\ TLH &= 62.427,67 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Untuk nilai *Effective Room Latent Heat* (ERLH) dari LRT gerbong T yaitu:

$$\begin{aligned} ERLH &= 37.767,94 + (34.688,07 \times 0,1) \\ ERLH &= 41.236,75 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *Total Latent Heat* dari LRT pada gerbong T adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TLH &= 37.767,94 + 34.688,07 \\ TLH &= 72.456,02 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai *Effective Room Total Heat* (ERTH) menggunakan persamaan 2.29 yaitu:

$$\begin{aligned} ERTH &= 58.994,06 + 35.531,41 \\ ERTH &= 94.475,47 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *Effective Room Total Heat* (ERTH) dari LRT pada gerbong MC yaitu 94.475,47 Btu/hr.

$$ERTH = 62.349,18 + 41.236,75$$

$$ERTH = 103.585,93 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Effective Room Total Heat* (ERTH) dari LRT pada gerbong T yaitu 103.585,93 Btu/hr.

### 3.3.2.1 Total Beban Kalor

Salah satu variabel yang digunakan untuk menghitung Total beban kalor atau *grand total heat* adalah *dehumidified air quantity* yang dapat ditentukan dengan persamaan 2.33.

$$cfm_{da} = \frac{58.944,06}{(1,08 \times (1 - 0,1) \times (78,8 - 61))}$$

$$cfm_{da} = 3406,856 \text{ CFM}$$

Sehingga nilai *Dehumidified Air Quantity* (CFM) dari LRT pada gerbong MC yaitu 3.406,856 Btu/hr.

$$cfm_{da} = \frac{62.349,18}{(1,08 \times (1 - 0,1) \times (78,8 - 61))}$$

$$cfm_{da} = 3603,66 \text{ CFM}$$

Sehingga nilai *Dehumidified Air Quantity* (CFM) dari LRT pada gerbong T yaitu 3.603,66 Btu/hr.

Besarnya *Effective Sensible Heat Factor* (ESHF) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.33 yaitu:

$$ESHF = \frac{58.994,06}{58.994,06 + 35.531,41}$$

$$ESHF = 0,623908$$

Sehingga nilai *Effective Sensible Heat Factor* (ESHF) dari LRT pada gerbong MC yaitu 0,623908 Btu/hr.

$$ESHF = \frac{62.349,18}{62.349,18 + 103.585,93}$$

$$ESHF = 0,60190$$

Sehingga nilai *Effective Sensible Heat Factor* (ESHF) dari LRT pada gerbong T yaitu 0,60190 Btu/hr.

*Entering Air Enthalpy* merupakan minimum entalpi yang masuk ke dalam LRT, nilainya diperoleh berdasarkan persamaan 2.35.

$$h_{ea} = \frac{(520,13 \times 59) + (2886,72 \times 34)}{3406,85}$$

$$h_{ea} = 37,8167 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Entering Air Enthalpy* dari LRT pada gerbong MC sebesar 37,8167 Btu/hr.

$$h_{ea} = \frac{(603,73 \times 59) + (2.999,93 \times 34)}{3.603,66}$$

$$h_{ea} = 38,1888 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga nilai *Entering Air Enthalpy* dari LRT pada gerbong T sebesar 38,1888 Btu/hr.

Nilai *Supply Air Quantity* diasumsikan sama dengan *Dehumidified Air Quantity* karena pada kondisi *apparatus* dianggap tidak ada aliran udara yang masuk pada ruangan.

**Tabel 3. 15** Nilai *Air Quantity* dan *Enthalpy* diluar Kereta dan didalam Kereta (Gerbong MC dan T)

	<b>Outdoor Air</b>	<b>Return Air</b>
Quantity (cfm)	520,13	2886,726
	<b>Outdoor Air</b>	<b>Room Air</b>
Enthalpy (Btu/lb)	59	34

Dari data di atas didapatkan nilai *entering air enthalpy* yakni sebesar 37,816 Btu/lb untuk gerbong MC dan 38,1888 Btu/hr untuk gerbong T.

*Leaving Air Enthalpy* merupakan besarnya entalpi yang keluar dari LRT, nilainya dihitung dengan menggunakan persamaan 2.34.

$$h_{la} = 27,3 + 0,1(37,816 - 27,3)$$

$$h_{la} = 28,3516 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga dapat ditentukan nilai *leaving air enthalpy* dari LRT pada gerbong MC yaitu sebesar 28,351 Btu/lb.

$$h_{la} = 27,3 + 0,1(38,1888 - 27,3)$$

$$h_{la} = 28,3888 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga dapat ditentukan nilai *leaving air enthalpy* dari LRT pada gerbong MC yaitu sebesar 28,3888 Btu/lb.

Dengan demikian besarnya *grand total heat* dapat dihitung sebagai berikut :

$$GTH = 4,45 \times cfm_{da} \times (h_{ea} - h_{la})$$

$$GTH = 4,45 \times 3406,856 \times (37,816 - 28,351)$$

$$GTH = 143.495,88 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga didapatkan besarnya beban pendinginan pada LRT gerbong MC adalah sebesar 143.495,88 Btu/hr atau 36.160,9642 Kcal/hr.

**Tabel 3. 16** *Cooling Load LRT MC*

COOLING LOAD LRT MC			
SENSIBLE		LATEN	
DINDING (Btu/hr)	8779.394025	PENUMPANG (Btu/hr)	29500
ATAP (Btu/hr)	529.836	INFILTRASI (Btu/hr)	84.49452132
JENDELA (Btu/hr)	284.704		
LANTAI (Btu/hr)	1364.77548		
LAMPU (Btu/hr)	14888.6		
PENUMPANG (Btu/hr)	23600		
INFILTRASI (cfm)	0.93		
VENTILASI (cfm)	519.2		
selain dinding dan atap (Btu/hr)	4,676		
total (Btu/hr)	67,134	total (Btu/hr)	62427.67603
OASH (Btu/hr)	9100.19448	OALH (Btu/hr)	29884.73205
RSH (Btu/hr)	58034.04216	RLH (Btu/hr)	32542.94397
ERSH (Btu/hr)	58944.06161	ERLH (btu/hr)	35531.41718

$$GTH = 4,45 \times 3.603,66 \times (38,1883 - 28,3888)$$

$$GTH = 157.147,428 \text{ Btu/hr}$$

Sehingga didapatkan besarnya beban pendinginan pada LRT gerbong T adalah sebesar 157.147,438 Btu/hr atau 39.601,151 Kcal/hr.

**Tabel 3. 17 Cooling Load LRT T**

COOLING LOAD LRT T			
SENSIBLE		LATEN	
DINDING (Btu/hr)	6954.1974	PENUMPANG (Btu/hr)	34250
ATAP (Btu/hr)	529.836	INFILTRASI (Btu/hr)	84.49452132
JENDELA (Btu/hr)	195.488		
LANTAI (Btu/hr)	1364.77548		
LAMPU (Btu/hr)	14888.6		
PENUMPANG (Btu/hr)	27400		
INFILTRASI (cfm)	0.93		
VENTILASI (cfm)	602.8		
selain dinding dan atap (Btu/hr)	4,974		
total (Btu/hr)	70,999	total (Btu/hr)	72456.02058
OASH (Btu/hr)	10562.86008	OALH (Btu/hr)	34688.0766
RSH (Btu/hr)	60436.50003	RLH (Btu/hr)	37767.94397
ERSH (Btu/hr)	61492.78604	ERLH (btu/hr)	41236.75163

### 3.3.3 Kondisi Udara Suplai (*Supply Air*)

Temperatur udara suplai dapat ditentukan terlebih dahulu sehingga beda temperatur udara antara ruangan dan suplai akan berkisar 10-30°F menurut buku *Air Conditioning Principles and System*, Edward g. Pita hal

159. Sehingga dalam hal ini akan digunakan nilai paling tinggi yaitu sebesar 30°F. sehingga:

$$T_{suplai} = T_{room} - 15^{\circ}F$$

$$T_{suplai} = 78,8^{\circ}F - 15^{\circ}F$$

$$T_{suplai} = 63,8^{\circ}F$$

Sehingga besar debit udara suplai (CFM<sub>suplai</sub>) yang dibutuhkan yaitu:

$$CFMs = \frac{RSHG}{1,1 \times (t_R - 30)} \quad (3.1)$$

$$CFMs = \frac{58.034,81}{1,1 \times (78,8 - 30)}$$

$$CFMs = 1.758,607 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Sehingga besar debit udara suplai (CFM<sub>suplai</sub>) yang dibutuhkan LRT gerbong MC yaitu 1.758,607 ft<sup>3</sup>/min

$$CFMs = \frac{61.292,89}{1,1 \times (78,8 - 30)}$$

$$CFMs = 1.857,36 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Sehingga besar debit udara suplai (CFM<sub>suplai</sub>) yang dibutuhkan LRT gerbong T yaitu 1.857,36 ft<sup>3</sup>/min. Total debit udara dari 1 unit AC yang masuk ke dalam ruangan gerbong MC yaitu sebesar 1.758,607 ft<sup>3</sup>/min dan untuk gerbong T yaitu 1.857,36 ft<sup>3</sup>/min.

### 3.3.4 Kondisi Udara Campuran (*Mixture Air*)

Adapun untuk kebutuhan udara luar (CFM<sub>Mo</sub>) dan untuk kebutuhan udara balik (CFM<sub>ra</sub>) untuk LRT pada kedua gerbong yaitu:

$$CFM_{ra} = CFM_{sa} - CFM_{Mo} \quad (3.1)$$

$$CFM_{ra} = 1.758,607 - 519,2$$

$$CFM_{ra} = 1.239,40 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$T_{udara\ luar}(T_{OA}) = 95^{\circ}F, RH = 90\%,$$

$$W_{udara\ luar}(W_{OA}) = 230,054 \text{ gr/lb}$$

$$\begin{aligned} T_{room}(T_R) &= 78,8^\circ F, RH = 65\%, \\ W_{room}(W_R) &= 96,391 \text{ gr/lb} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui kedua kondisi udara yaitu udara luar dan udara balik, maka kondisi temperatur udara campuran ( $T_M$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

Untuk gerbong MC:

$$(T_M) = \frac{(CFM_{OA} \times T_{OA}) + (CFM_{RA} \times T_R)}{CFM_S} \quad (3.3)$$

$$(T_M) = \frac{(519,2 \times 95) + (1.239,4 \times 78,8)}{1.758,607}$$

$$(T_M) = 83,58278^\circ F$$

Dan untuk menghitung rasio kelembaban udara *mixture* ( $W'_M$ ) adalah sebagai berikut:

$$(W'_M) = \frac{(CFM_{OA} \times W'_{OA}) + (CFM_{RA} \times W'_R)}{CFM_S} \quad (3.4)$$

$$(W'_M) = \frac{(519,2 \times 230,054) + (1.511,785 \times 96,391)}{1.758,607}$$

$$(W'_M) = 72,2387 \text{ gr/lb}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka setelah dimasukkan pada grafik psikometrik dengan ( $T_M$ ) = 83,582°F, ( $W'_M$ ) = 72,2387 gr/lb, dengan RH sebesar 41,920% didapatkan temperature apparatus dew point (Tadp) yaitu 58,033°F.

Untuk gerbong T yaitu:

$$CFM_{ra} = CFM_{sa} - CFM_{oa} \quad (3.5)$$

$$CFM_{ra} = 1.857,36 - 602,8$$

$$CFM_{ra} = 1.254,56 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$T_{udara \text{ luar}}(T_{OA}) = 95^\circ F, RH = 90\%,$$

$$W_{udara \text{ luar}}(W_{OA}) = 230,054 \text{ gr/lb}$$

$$T_{room}(T_R) = 78,8^\circ F, RH = 65\%,$$

$$W_{room}(W_R) = 96,391 \text{ gr/lb}$$

$$(T_M) = \frac{(CFM_{OA} \times T_{OA}) + (CFM_{RA} \times T_R)}{CFM_S}$$

$$(T_M) = \frac{(519,2 \times 95) + (1.254,56 \times 78,8)}{1.857,36}$$

$$(T_M) = 84,05766 \text{ } ^\circ F$$

Dan untuk menghitung rasio kelembaban udara *mixture* ( $W'_M$ ) adalah sebagai berikut:

$$(W'_M) = \frac{(CFM_{OA} \times W'_{OA}) + (CFM_{RA} \times W'_{R})}{CFM_S} \quad (3.6)$$

$$(W'_M) = \frac{(519,2 \times 230,054) + (1.254,56 \times 96,391)}{1.857,36}$$

$$(W'_M) = 78,7527 \text{ gr/lb}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka setelah dimasukkan pada grafik psikometrik dengan  $(T_M) = 84,057 \text{ } ^\circ F$ ,  $(W'_M) = 78,7527 \text{ gr/lb}$ , dengan RH sebesar 44,941% didapatkan temperature apparatus dew point (Tadp) yaitu  $60,408 \text{ } ^\circ F$ .

### 3.3.5 Perancangan Saluran Udara (*Ducting*)

Fungsi saluran udara (*ducting*) adalah untuk menyalurkan udara yang dikeluarkan oleh unit AC ke ruangan yang akan dikondisikan. Dalam membuat saluran udara (*ducting*) perlu diperhatikan beberapa aspek yaitu *friction loss*, dan kecepatan aliran.

Untuk perancangan sistem saluran udara (*ducting*) pada LRT digunakan metode *equal friction*. Metode ini digunakan karena kemudahan dalam penggunaannya, selain itu sistem ini cocok untuk sistem yang tidak memiliki jarak yang jauh antara *outlet* satu dengan yang lainnya (buku *Air Conditioning Principles and System*, Edward g. Pita, hal 159). Adapun langkah melakukan metode ini sebagai berikut:

- a. Debit udara suplai untuk 1 unit AC pada gerbong ditentukan yaitu  $CFMs = 2031 \text{ ft}^3/\text{min}$  sesuai dengan spesifikasi AC yang digunakan.

- b. Kecepatan udara saluran udara (*ducting*) adalah 900 ft/min (buku *Air Conditioning Principles and System*, Edward g. Pita, hal 159).
- c. Debit udara dan kecepatan udara yang sudah didapat, ditentukan *friction loss* yaitu sebesar 0.02 .in (grafik *friction loss*).
- d. Ditentukan ukuran saluran udara (*ducting*) yaitu sepanjang gerbong dengan ukuran 0,189 m x 0,463 m untuk gerbong MC dan 0,189 m x 0,463 m untuk gerbong T. dengan diameter ekivalent 0.268 m.

**Tabel 3. 18** Ukuran Saluran Udara LRT

No	Perhitungan	nilai
1	debit udara suplai (CFM)	2031
3	<i>friction loss</i>	0.02
4	ukuran diameter (m)	0,463 x 0,189 (MC)
		0,463 x 0,189 (T)
5	saluran diameter ekivalent (m)	0,268

### 3.3.6 Diffuser

Dalam menentukan jumlah diffuser yang akan digunakan diperlukan beberapa parameter seperti, kecepatan aliran udara, dan suplai udara. Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan aliran udara yang jatuh diatas satu penumpang tidak lebih besar dari 0,5 m/detik. Adapun langkah menentukan *diffuser* yaitu sebagai berikut:

1. Jumlah penumpang ditentukan yaitu 118 orang untuk gerbong MC dan 137 orang untuk gerbong T
2. Debit udara dari 1 unit AC ditentukan yaitu  $2031 \text{ ft}^3/\text{min}$  atau  $3.450,56 \text{ m}^3/\text{hr}$  untuk kedua gerbong.

3. Dimensi *diffuser* untuk gerbong MC dan T mengikuti standar ASHRAE yaitu  $8,8 \text{ cm} \times 8,8 \text{ cm} \times 20\%$
4. Kecepatan *diffuser* ditentukan penumpang dibagi kecepatan per penumpang yaitu  $9 \text{ m/hr}$  yaitu  $\frac{118}{9 \frac{m}{hr}} = 13,1 \text{ m/min}$  untuk gerbong MC dan  $\frac{137}{9 \frac{m}{hr}} = 15,2 \text{ m/min}$  untuk gerbong T.
5. *Flowrate* *diffuser* ditentukan  $15,488 \text{ cm}^2 \times 13,1 \text{ m/min} = 203,064 \text{ m}^3/60 \text{ min} = 3,38441 \frac{\text{m}^3}{hr}$  untuk gerbong MC dan  $15,488 \text{ cm}^2 \times 15,2 \text{ m/min} = 235,761 \text{ m}^3/60 \text{ min} = 3,929 \frac{\text{m}^3}{hr}$  untuk gerbong T.
6. Jumlah *diffuser* yang dibutuhkan adalah perbandingan antara suplai dengan *flowrate* *diffuser*.  $\frac{\frac{3450,56 \text{ m}^3}{hr}}{\frac{3.384 \text{ m}^3}{hr}} = 1019.5 = 1000 \text{ buah}$   
 untuk gerbong MC dan  $\frac{\frac{3.156,52 \text{ m}^3}{hr}}{\frac{3.929 \text{ m}^3}{hr}} = 878,14 = 880 \text{ buah}$ .

**Tabel 3. 19** Ukuran Saluran Udara LRT pada Gerbong MC

no	Perhitungan	nilai
1	dimensi <i>diffuser</i>	$8,8 \text{ cm} \times 8,8 \text{ cm} \times 20\%$
2	V aliran udara/person (m/hr)	9
3	V <i>diffuser</i> (m/min)	13,1
4	<i>flowrate</i> <i>diffuser</i> ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )	3.3844
5	jumlah <i>diffuser</i> (pcs)	1000

**Tabel 3. 20** Ukuran Saluran Udara LRT pada Gerbong T

no	Perhitungan	nilai
1	dimensi diffuser	8,8 cm x 8,8 cm x 20%
2	V aliran udara/person (m/hr)	9
3	V diffuser (m/min)	15,2
4	flowrate diffuser (m <sup>3</sup> /hr)	3.929
5	jumlah diffuser (pcs)	880

### 3.3.7 Simulasi Desain Kenyamanan Termal

Desain simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kenyamanan termal yang ada dalam LRT. Variasi desain geometri pada simulasi ini berjumlah 4 dengan dengan 2 desain *ducting* berbentuk persegi panjang dan 2 desain *ducting* berbentuk lingkaran. Pada proses numerik terbagi menjadi 3 tahapan, yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post processing*.

#### 3.3.7.1 Pre Processing

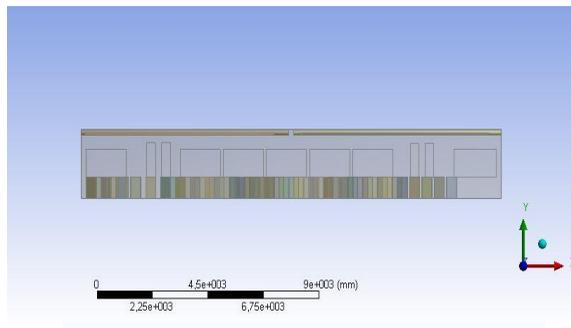
*Pre-Processing* merupakan proses awal dalam melakukan simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pada proses ini dilakukan pembuatan geometri dan menentukan domain dari *control volume* yang akan disimulasikan. Terdapat beberapa tahapan dari proses *Pre-Processing* antara lain:

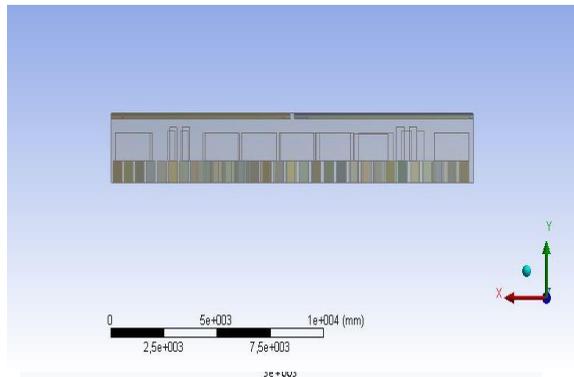
##### a. Pembuatan Variasi Geometri

Model geometri yang dibuat merupakan desain gerbong dengan kondisi ruangan sudah terdapat kursi dan penumpang dengan jumlah normal. Kemudian ditentukan nilai-nilai yang sudah dihitung untuk mendesain *ducting* yang akan digunakan kereta tersebut.

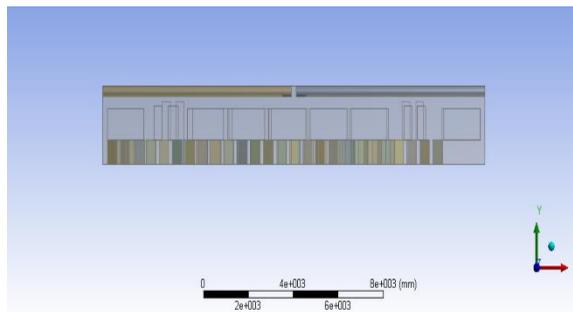
**Tabel 3. 21** Tabel Ukuran Kereta LRT

No	Bagian	Jumlah	Ukuran
1	dinding MC	2 gerbong	(17 x 2,65 x 2,42) m
2	Jendela MC	7 per sisi	(1,626 x 0,963) m
3	Jendela di pintu MC	4 per sisi	(0,356 x 1,189) m
4	Jendela depan MC	1 sisi	(2 x 1,5) m
5	Dinding T	1 gerbong	(17 x 2,65 x 2,42) m
6	Jendela T	7 per sisi	(1,626 x 0,963) m
7	Jendela di pintu T	4 per sisi	(0,356 x 1,189) m

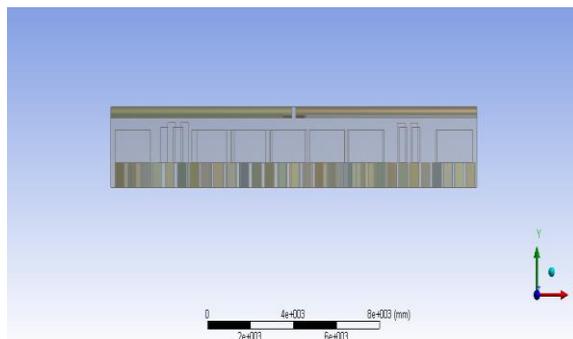
**Gambar 3. 2** Gambar geometri gerbong MC *duct* persegi panjang



**Gambar 3. 3** Gambar geometri gerbong T *duct* persegi panjang



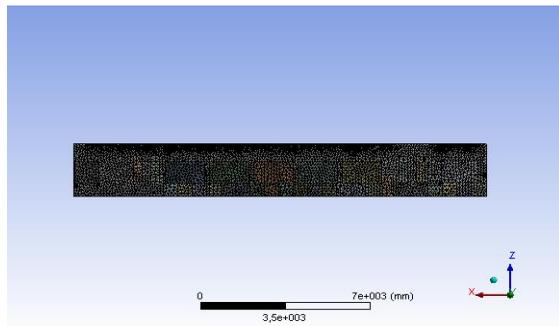
**Gambar 3. 4** Gambar geometri gerbong MC *duct* lingkaran



**Gambar 3. 5** Gambar geometri gerbong T *duct* lingkaran

### b. *Meshing*

Proses *meshing* dilakukan berdasarkan geometri *control volume*. Karakteristik aliran yang akan dianalisis adalah aliran pada bagian *control volume* yang berada dalam gerbong kereta LRT. *Meshing* untuk pemodelan 3D pada gerbong kereta LRT ditunjukkan sebagai berikut:



**Gambar 3. 6** *Meshing* pada gerbong MC

Pada proses *meshing* ada beberapa pengaturan yang diubah sesuai dengan kondisi geometri. Untuk gerbong MC *sizing* dipilih *body sizing* pada gerbong dengan *element size* 100 mm, *body sizing* pada *ducting* 100 mm, *body sizing* pada *diffuser* 50 mm, *face size* pada inlet dan outlet 20 mm. *Orthogonal Quality* = 0,1788 *Orthogonal Skewness* = 0,819185 *Aspect Ratio* = 36,535 didapatkan elemen sebesar 5.724.736 dan nodes 939.321.

Untuk gerbong T *sizing* dipilih *body sizing* pada gerbong dengan *element size* 100 mm, *body sizing* pada *ducting* 50 mm, *body sizing* pada *diffuser* 50 mm, *face size* pada inlet dan outlet 20 mm. *Orthogonal Quality* = 0,1588 *Orthogonal Skewness*

= 0,927423 *Aspect Ratio* = 122.20 dengan elemen 3.155.671 dan nodes 634.078.

### 3.3.8 Menentukan *Boundary Condition*

Tahapan selanjutnya adalah menentukan *boundary condition* atau kondisi batas pada objek yang akan disimulasikan.

**Tabel 3. 22** Parameter *Boundary Condition*

<i>Boundary condition</i>	Keterangan
<i>Inlet</i>	Tipe : <i>Velocity inlet</i> Kecepatan : 12,7 m/s Temperatur : 293 K
<i>Outlet</i>	Tipe : <i>Outflow</i>
Atap	Tipe : <i>Wall</i> Temperatur : 300 K
dinding barat	Tipe : <i>Wall</i> Temperatur : 300 K
Dinding timur	Tipe : <i>Wall</i> Temperatur : 300 K
Dinding barat	Tipe : <i>Wall</i> Temperatur : 300 K
Kaca jendela barat	Tipe : <i>wall</i> Material : <i>glass</i> Temperatur : 300 K
Kaca jendela timur	Tipe : <i>wall</i> Material : <i>glass</i> Temperatur : 300 K
kaca jendela pintu barat	Tipe : <i>Wall</i> Material : <i>glass</i> Temperatur : 300 K
Kaca jendela pintu timur	Tipe : <i>Wall</i> Material : <i>Glass</i> Temperatur : 300 K

### **3.3.9 Processing**

Tahapan kedua setelah *Pre-Processing* ialah *Processing*. Pada tahap *processing* mengatur *solver model*, *viscous model*, *materials*, *boundary condition*, *control and monitoring conditions*, serta *initialize conditions*. Kemudian dilakukan proses iterasi untuk menyelesaikan proses simulasi. Berikut ini adalah penjelasan mengenai langkah-langkah dalam *processing* :

#### **3.3.9.1 Solver model**

Persamaan energi yang ada pada *solver model* diaktifkan untuk mendukung penyelesaian *heat transfer* aliran terhadap perubahan temperatur. Untuk *viscous modeling* digunakan  $k$ -epsilon (2eqn). Dikarenakan nilai aliran termasuk dalam *internal flow* sehingga model ini baik untuk digunakan.

#### **3.3.9.2 Material**

Dalam simulasi ini material yang digunakan ada 2 macam yaitu fluida kerja yang mengalir dan material dari gerbong. Fluida kerja yang mengalir dimodelkan sebagai udara dan material dari gerbong berupa kaca, penumpang, dan aluminium.

#### **3.3.9.3 Boundary Condition**

Pada *boundary condition* terdapat beberapa variabel yang dimasukkan sebagai parameter simulasi. Variabel yang digunakan tertera pada tabel 3.2.

#### **3.3.9.4 Control and Monitoring Solution**

*Solution control* yang digunakan pada metode *pressure-velocity coupling* adalah SIMPLE dengan diskritisasi *first order upwind* untuk seluruh parameter. Hal ini dikarenakan dapat mempercepat proses iterasi mencapai konvergen.

### **3.3.9.5 Initialize Condition**

*Initialize* adalah nilai awal untuk setiap parameter sebelum dilakukan proses iterasi pada simulasi. Metode inisialisasi yang digunakan adalah *standart initialize* untuk mendapatkan nilai parameter awal berdasarkan *boundary conditions* pada sisi *inlet* dengan temperatur 293 K.

### **3.3.9.6 Iterations**

Iterasi merupakan tahap terakhir setelah seluruh pengaturan dilakukan. Proses simulasi dimulai dengan melakukan iterasi 500 dengan melihat perbandingan nilai net *mass flowrate* antara inlet dan outlet tidak boleh lebih dari  $10^{-6}$ .

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Validasi Hasil Simulasi**

Validasi data merupakan salah satu proses yang dilakukan untuk menyesuaikan hasil simulasi dengan kondisi sebenarnya. Dalam tugas akhir ini validasi dilakukan dengan dua tahap. Validasi pertama digunakan untuk melihat apakah hasil iterasi sudah sesuai atau tidak dalam simulasi. Validasi kedua digunakan untuk melihat apakah hasil simulasi sudah sesuai dengan perhitungan yang sesuai dengan kondisi sebenarnya atau tidak.

##### **4.1.1 Validasi iterasi**

Penentuan iterasi ditentukan dengan melihat elemen yang dihasilkan dari penentuan *sizing* pada tiap geometri. Iterasi dilakukan dengan iterasi maksimal 100 dengan melihat perbandingan nilai net *mass flowrate* antara inlet dan outlet tidak boleh lebih dari  $10^{-6}$  menurut buku Dasar-dasar CFD menggunakan Fluent, 2008.

##### **4.1.2 Validasi Perhitungan**

Simulasi dilakukan dengan menggunakan parameter yang didapat dari hasil perhitungan. Hasil simulasi berupa temperatur dalam gerbong sebesar 24-26° C. Hasil yang diharapkan adalah temperatur ruangan sebesar 22-26 derajat celcius dan RH sebesar 65% se sesuai standar kenyamanan ruangan yang berlaku. Standar yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

## 4.2 Analisa hasil *Cooling Load*

**Tabel 4. 1** *Cooling Load* LRT MC

COOLING LOAD LRT MC			
58,797 PK atau 36.160,9642 Kcal/hr			
SENSIBLE		LATEN	
DINDING (Btu/hr)	8779.394025	PENUMPANG (Btu/hr)	29500
ATAP (Btu/hr)	529.836	INFILTRASI (Btu/hr)	84.494
JENDELA (Btu/hr)	284.704		
LANTAI (Btu/hr)	1364.77548		
LAMPU (Btu/hr)	14888.6		
PENUMPANG (Btu/hr)	23600		
INFILTRASI (cfm)	0.93		
VENTILASI (cfm)	519.2		
selain dinding dan atap (Btu/hr)	4,676		
total (Btu/hr)	67,134	total (Btu/hr)	62427.67603
OASH (Btu/hr)	9100.19448	OALH (Btu/hr)	29884.73205
RSH (Btu/hr)	58034.04216	RLH (Btu/hr)	32542.94397
ERSH (Btu/hr)	58944.06161	ERLH (btu/hr)	35531.41718

**Tabel 4. 2** *Cooling Load LRT T*

COOLING LOAD LRT T			
64,033 PK atau 39.601,151 Kcal/hr			
SENSIBLE		LATEN	
DINDING (Btu/hr)	6954.1974	PENUMPANG (Btu/hr)	34250
ATAP (Btu/hr)	529.836	INFILTRASI (Btu/hr)	84.49452132
JENDELA (Btu/hr)	195.488		
LANTAI (Btu/hr)	1364.77548		
LAMPU (Btu/hr)	14888.6		
PENUMPANG (Btu/hr)	27400		
INFILTRASI (cfm)	0.93		
VENTILASI (cfm)	602.8		
selain dinding dan atap (Btu/hr)	4,974		
total (Btu/hr)	70,999	total (Btu/hr)	72456.02058
OASH (Btu/hr)	10562.86008	OALH (Btu/hr)	34688.0766
RSH (Btu/hr)	60436.50003	RLH (Btu/hr)	37767.94397
ERSH (Btu/hr)	61492.78604	ERLH (btu/hr)	41236.75163

Dari hasil yang didapat terlihat perbedaan yang cukup jauh antara *cooling load* yang dihasilkan oleh gerbong MC dengan gerbong T. perbedaan hasil perhitungan ini sudah dapat dilihat dari kapasitas penumpang yang disediakan. Kapasitas penumpang pada gerbong MC adalah 118 penumpang sedangkan gerbong T adalah 137 penumpang. Hasil perhitungan beban kalor pada jendela dari masing-masing gerbong juga berbeda dimana beban kalor jendela pada gerbong MC lebih besar dibandingkan gerbong T. Hal ini

disebabkan oleh penambahan jumlah jendela pada gerbong MC yaitu jendela depan sedangkan pada gerbong T tidak digunakan jendela depan sehingga hal tersebut mempengaruhi nilai beban kalor jendela yang membuat hasil perhitungan beban kalor menjadi berbeda antara gerbong MC dan gerbong T. Selain itu nilai beban kalor dinding pada kedua gerbong memiliki nilai yang sama. Hal ini dikarenakan letak dari dinding belakang dan depan pada gerbong T berhadapan langsung dengan gerbong MC sehingga tidak terkena matahari. Nilai kuantitas ventilasi udara pada gerbong T lebih besar dibandingkan dengan gerbong MC. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh jumlah penumpang yang ada pada masing-masing gerbong. Nilai beban kalor yang dihasilkan selain dinding dan atap memiliki nilai yang berbeda antara kedua gerbong. Hal ini disebabkan oleh luasan seluruh kaca pada kedua gerbong berbeda sehingga mempengaruhi nilai dari beban kalor tersebut. Sehingga nilai *cooling load* gerbong MC adalah 36.160,96 kcal/hr dan gerbong T adalah 39.601,15 kcal/hr. Dari hasil tersebut maka LRT sebaiknya menggunakan sebuah pendingin ruangan dengan kapasitas beban pendinginan sebesar 40.000 Kcal/hr. Besarnya beban pendinginan telah sesuai dengan rancangan LRT, dimana LRT akan dipasang hanya satu buah pendingin ruangan.

#### **4.3 Analisa Kenyamanan Termal terhadap variasi bentuk *duct* dengan Simulasi CFD**

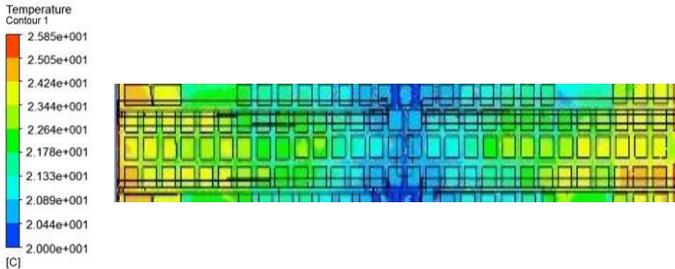
LRT Palembang memiliki 3 gerbong dimana 2 gerbong berupa gerbong penarik yang disebut dengan gerbong MC dan gerbong pengikut yang disebut dengan gerbong T. Pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap 2 gerbong LRT. Hal ini dikarenakan kedua gerbong penarik memiliki geometri dan spesifikasi yang sama sehingga simulasi cukup dilakukan pada 1 gerbong penarik dan gerbong pengikut. *Cooling load* dari gerbong MC dan T dihitung sesuai dengan keadaan dan spesifikasi yang ada. Desain *ducting* dibuat dengan variasi persegi panjang dan lingkaran dengan jumlah diffuser yang sudah dihitung yaitu 1000 buah untuk gerbong MC dan 880 buah untuk gerbong T. Gerbong MC memiliki lebih banyak *diffuser* hal ini dikarenakan jumlah

penumpang akan mempengaruhi nilai kecepatan *diffuser* sehingga *flowrate* yang dibutuhkan akan semakin besar tetapi jumlah *diffuser* yang dibutuhkan semakin sedikit dikarenakan suplai udara memiliki nilai yang tetap. Bentuk variasi *duct* yang digunakan untuk simulasi pertama yaitu berbentuk persegi panjang. Hal ini dikarenakan pada umumnya bentuk persegi yang sering digunakan untuk saluran udara dalam kereta. Panjang dari *duct* sendiri mengikuti jumlah *diffuser* dimana untuk gerbong MC memiliki 1000 *diffuser* dan gerbong T memiliki 880 *diffuser*. *Duct* yang dibagi menjadi 4 bagian dikarenakan penempatan AC pada gerbong diletakkan dibagian tengah. Setiap *duct* pada gerbong MC akan memiliki 250 buah *diffuser* dan untuk gerbong T akan memiliki 220 buah *diffuser*.

Hasil simulasi CFD berupa kontur pada distribusi temperatur ditampilkan dengan menaruh *plane* bidang ruang kereta pada bidang XY bidang dan bidang YZ sebanyak 1 bidang yang dapat merepresentasikan kondisi temperatur dalam ruang LRT sebagai berikut:



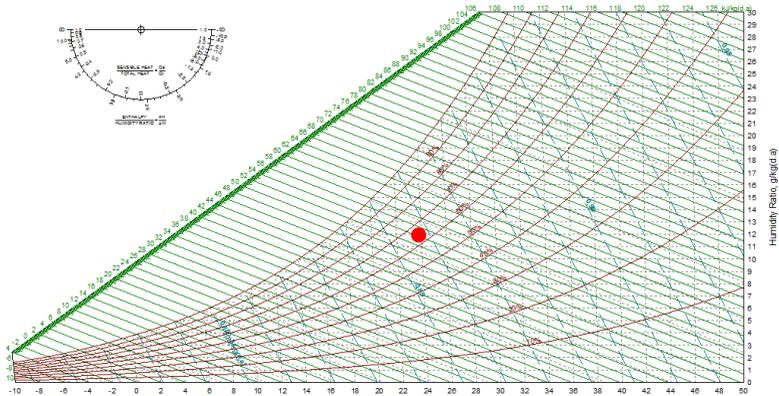
**Gambar 4. 1** Kontur distribusi temperatur pada gerbong MC *duct* bentuk persegi panjang



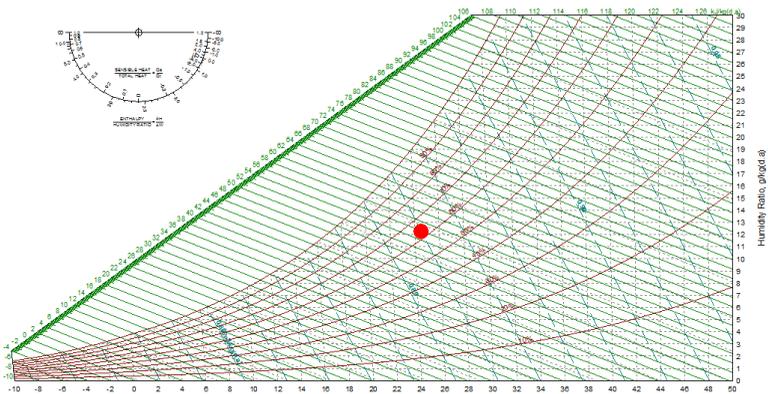
**Gambar 4. 2** Kontur distribusi temperatur pada gerbong T *duct* bentuk persegi panjang

Sehingga dengan perhitungan yang sudah dilakukan maka hasil simulasi dengan variasi *duct* persegi panjang yang didapat berupa temperatur seperti pada gambar 4.1 untuk gerbong MC dan 4.2 untuk gerbong T. Hasil temperatur rata-rata pada gambar 4.1 sebesar 22.47 °C yang mana sesuai dengan yang diharapkan. Sedangkan temperatur pada bagian tengah gerbong sekitar 21 °C. Begitu juga dengan gerbong T, pada gambar 4.2 terlihat hasil temperatur rata-rata sebesar 23.2 °C. Untuk gerbong T dan gerbong MC terlihat hasil temperatur merata. Dari gambar 4.1 dan 4.2 terlihat bahwa distribusi temperatur terlihat pada bagian tengah memiliki temperatur lebih dingin dibandingkan dengan bagian gerbong lainnya. Hal ini dikarenakan penempatan AC pada gerbong tepat berada di tengah gerbong sehingga bagian tengah gerbong akan lebih dingin dibandingkan dengan bagian gerbong lainnya.

*Relative humidity* pada gerbong LRT adalah 65%. Enthalpi rata-rata pada gerbong MC sebesar 55.36 kJ/kg. Hal ini sudah sesuai dengan kondisi yang diinginkan yaitu maksimum temperatur 26 derajat celcius. Berdasarkan grafik psikometrik, nilai yang didapat sudah berada dalam zona nyaman. Untuk LRT T enthalpi didapat sebesar 55.51 kJ/kg. Kedua kondisi tersebut dapat dikatakan sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia yaitu standar zona nyaman terletak pada temperature 22-26 derajat celcius dengan RH 40-70%.

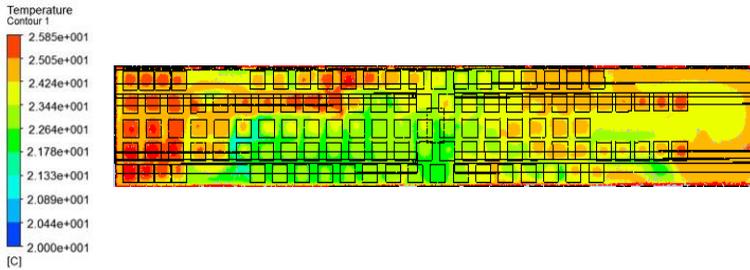


**Gambar 4. 3** Psikometrik gerbong LRT MC

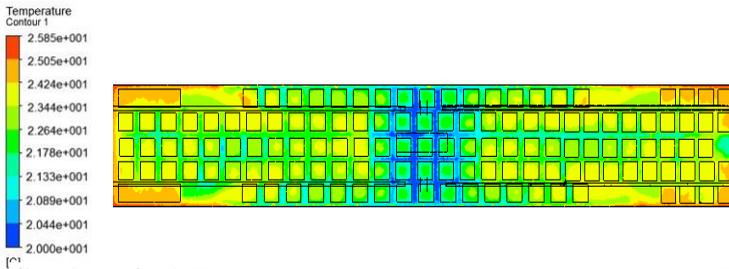


**Gambar 4. 4** Psikometrik gerbong LRT T

Bentuk variasi *duct* yang digunakan untuk simulasi kedua yaitu berbentuk lingkaran. Hasil simulasi CFD berupa kontur pada distribusi temperatur dan *streamline* ditampilkan dengan menaruh *plane* bidang ruang kereta pada bidang XY bidang dan bidang YZ sebanyak 1 bidang yang dapat merepresentasikan kondisi temperatur dalam ruang LRT. Hasil distribusi temperatur udara pada LRT adalah sebagai berikut :



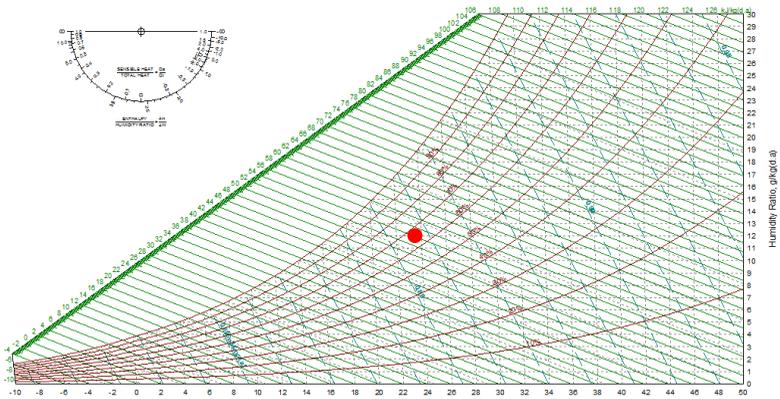
**Gambar 4. 5** Kontur distribusi temperatur pada gerbong MC *duct* lingkaran



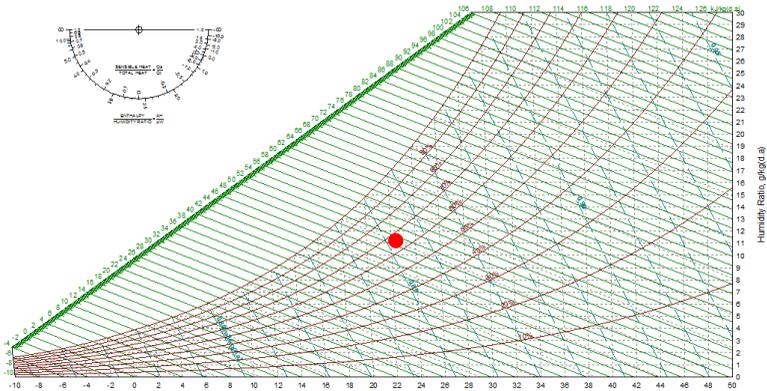
**Gambar 4. 6** Kontur distribusi temperatur pada gerbong T *duct* lingkaran

Hasil simulasi dengan variasi *duct* lingkaran yang didapat berupa temperatur seperti pada gambar 4.5 untuk gerbong MC dan 4.6 untuk gerbong T. Hasil temperatur rata-rata pada gambar 4.5 sebesar 22.84 °C yang mana sesuai dengan yang diharapkan. Temperatur pada bagian tengah gerbong sekitar 21.8 °C. Untuk gerbong T pada variasi *ducting* lingkaran, gambar 4.6 terlihat hasil temperatur rata-rata sebesar 23.7 °C. Distribusi temperatur pada bagian tengah terlihat memiliki temperatur lebih dingin dibandingkan dengan bagian gerbong lainnya. Hal ini sama seperti yang terjadi pada gerbong MC dan T pada variasi *ducting* persergi panjang dikarenakan penempatan AC pada gerbong tepat berada di tengah gerbong sehingga bagian tengah gerbong akan lebih dingin dibandingkan dengan bagian gerbong lainnya.

*Relative humidity* pada gerbong LRT adalah 65%. Enthalpi pada gerbong MC pada variasi *ducting* lingkaran sebesar 54.11 kJ/kg. Hal ini sudah sesuai dengan kondisi yang diinginkan yaitu maksimum temperatur 26 derajat celcius. Berdasarkan grafik psikometrik, nilai yang didapat sudah berada dalam zona nyaman. Untuk LRT T temperatur rata-rata didapat sebesar 23.7 derajat celcius dan enthalpi didapat sebesar 50.72 kJ/kg. Kedua kondisi tersebut dapat dikatakan sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia yaitu standar zona nyaman terletak pada temperature 22-26 derajat celcius dengan RH 40-70%.



**Gambar 4. 7** Psikometrik gerbong LRT MC



**Gambar 4. 8** Psikometrik gerbong LRT T

Untuk kecepatan udara rata-rata yang mengenai penumpang diukur dengan membuat titik disetiap penumpang yang ada di dalam gerbong. Hasil kecepatan udara gerbong MC pada variasi *ducting* persegi panjang yaitu sebesar 0.407 m/s. untuk gerbong T pada variasi *ducting* persegi panjang yaitu sebesar 0.444 m/s. untuk hasil kecepatan udara gerbong MC pada variasi *ducting* lingkaran yaitu sebesar 0.703 m/s. sedangkan untuk gerbong T pada variasi *ducting* lingkaran yaitu sebesar 0.78 m/s. Jika dilihat dari bentuk *ducting*, distribusi temperatur lebih merata jika menggunakan variasi *ducting* lingkaran tetapi kecepatan udara yang mengenai penumpang lebih besar sehingga kurang nyaman pada penumpang. Kecepatan udara rata-rata yang mengenai penumpang pada gerbong dengan variasi *ducting* persegi panjang sudah sesuai standar yaitu 0.4 m/s dan 0.44 m/s yang termasuk dengan kategori nyaman dengan gerakan udara terasa di penumpang. Sedangkan kecepatan udara pada gerbong variasi *ducting* lingkaran tidak memenuhi standar yaitu 0.7 m/s dan 0.78 m/s yang termasuk dengan kategori aliran udara ringan kurang menyenangkan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Beban pendingin atau *cooling load* yang dihasilkan oleh LRT gerbong MC sebesar 36.160,96 kcal/hr dan gerbong T adalah 39.601,15 kcal/hr. Hal ini sesuai dengan penggunaan AC yang akan digunakan dengan kapasitas 40.000 kcal/hr.
2. Distribusi temperatur gerbong pada variasi *ducting* persegi panjang dan lingkaran memiliki nilai rata-rata temperatur yang tidak jauh berbeda yaitu untuk variasi *ducting* persegi panjang pada gerbong MC sebesar 22.47 °C dan pada gerbong T sebesar 23.2 °C. untuk variasi *ducting* lingkaran pada gerbong MC sebesar 22.84 °C dan pada gerbong T sebesar 23.7 °C. hal ini sudah sesuai dengan standar yang berlaku yaitu kategori nyaman optimal.
3. Kecepatan udara rata-rata yang mengenai penumpang pada variasi *ducting* persegi panjang untuk gerbong MC sebesar 0.4 m/s dan untuk gerbong T 0.44 m/s lebih kecil dibandingkan dengan variasi *ducting* lingkaran untuk gerbong MC sebesar 0.7 m/s dan untuk gerbong T sebesar 0.78 m/s. Hal ini menyebabkan variasi *ducting* lingkaran termasuk kategori aliran ringan kurang menyenangkan untuk penumpang sehingga tidak direkomendasikan penggunaan *ducting* berbentuk lingkaran pada gerbong LRT.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Laszlo, C. (2016). Rectangular Supply Ducts with Varying Cross Section Providing Uniform Air, Applied Thermal Engineering 2016.
- Nicol, J.F. and Humphreys, M.A., 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and buildings*, 34(6), pp.563-572.
- Moujaes, Samir, and Radhika Gundavelli. "CFD simulation of leak in residential HVAC ducts." *Energy and Buildings* 54 (2012): 534-539.
- Luo, M., Cao, B., Damiens, J., Lin, B. and Zhu, Y., 2015. Evaluating thermal comfort in mixed-mode buildings: A field study in a subtropical climate. *Building and environment*, 88, pp.46-54.
- Rupp, R.F., Vásquez, N.G. and Lamberts, R., 2015. A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, pp.178-205.
- Parsons, K., 2014. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. Crc Press.
- Ditjenpp, "undang-undang republic Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkertaapian" [online] . available: <http://ditjenpp.kemenkumham.go.id/arsip/ln/2007/uu23-2007.pdf> [diakses 02 02 2012]
- WIDHIYANTI, Yanuaria Lusi. Strategi PT Kereta Api Indonesia (KAI) Dalam Meningkatkan Pelayanan Transportasi Kereta Api. 2012.
- American society of heating refrigerating and air conditioning engineers. *ASHRAE STANDARD: An American Standard: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating refrigerating and air conditioning engineers, 1992.
- Berlitz, Tim, and Gerd Matschke. "Interior air flow simulation in railway rolling stock." *Proceedings of the Institution of*

*Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 216.4 (2002): 231-236.

## LAMPIRAN A

### a. Standar Kenyamanan Termal

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

- 0.25 m/s ialah nyaman, tanpa dirasakan adanya gerakan udara.
- 0.25 – 0.5 m/s ialah nyaman, gerakan udara terasa.
- 0.6 – 1.5 m/s aliran udara ringan kurang menyenangkan.
- Diatas 1.5 m/s tidak menyenangkan.

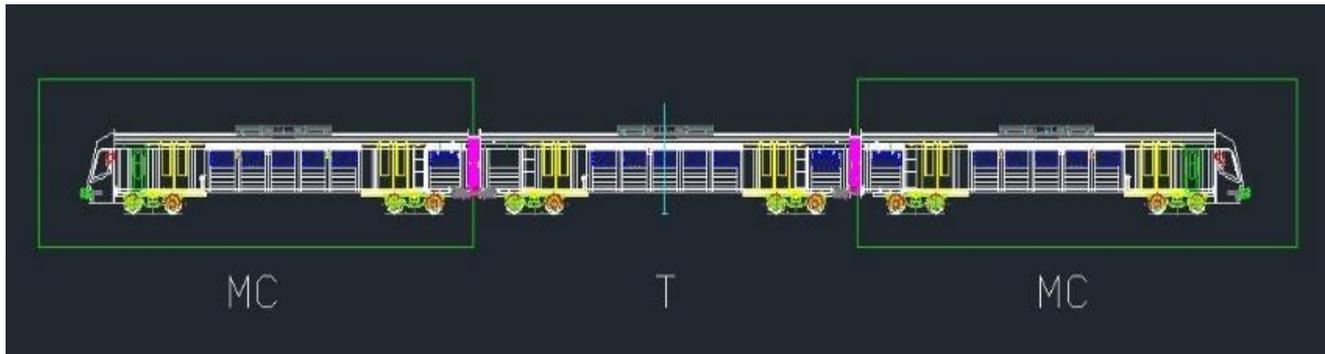
Untuk standar kenyamanan suhu *SNI-14-1993-03* menyatakan daerah kenyamanan termal pada ruangan yang di kondisikan untuk orang Indonesia yaitu :

- Sejuk nyaman, antara suhu efektif  $20.8^{\circ}\text{C} - 22^{\circ}\text{C}$
- Nyaman optimal, antara suhu efektif  $22^{\circ}\text{C} - 25.8^{\circ}\text{C}$
- Hangat nyaman, antara suhu efektif  $25.8^{\circ}\text{C} - 27.1^{\circ}\text{C}$

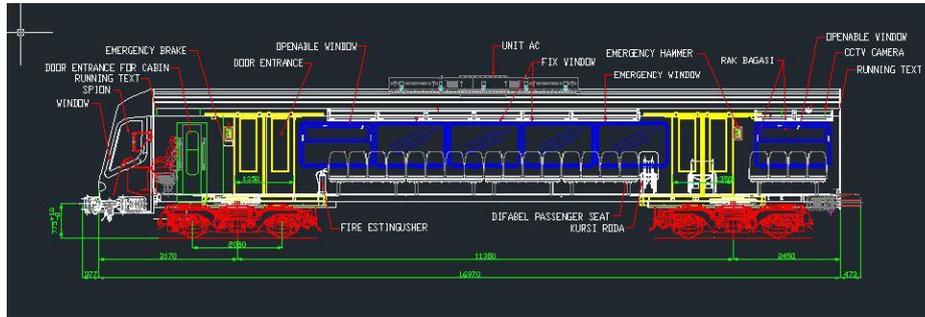
Untuk standar kenyamanan kelembapan menurut *SNI* yang dikeluarkan oleh Menteri Kesehatan (1993) menyatakan daerah kenyamanan termal pada bangunan yang dikondisikan untuk orang Indonesia yaitu 40 %-70 %.



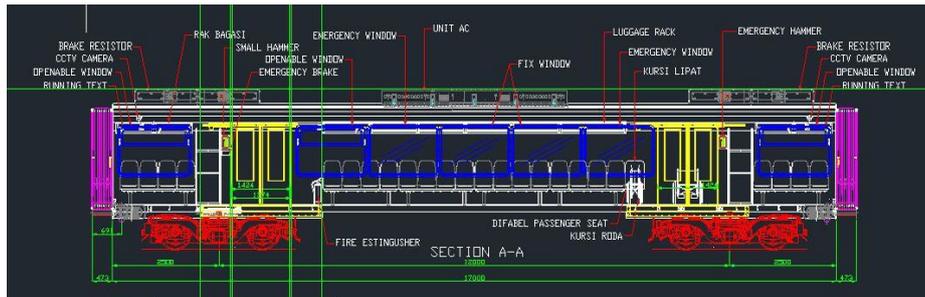
## LAMPIRAN B



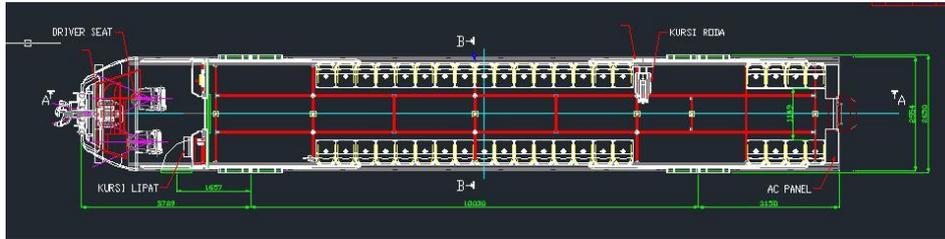
**Gambar 1.** Desain LRT Palembang dengan MC (*Motorized Car*) dan T (*Trail Car*)



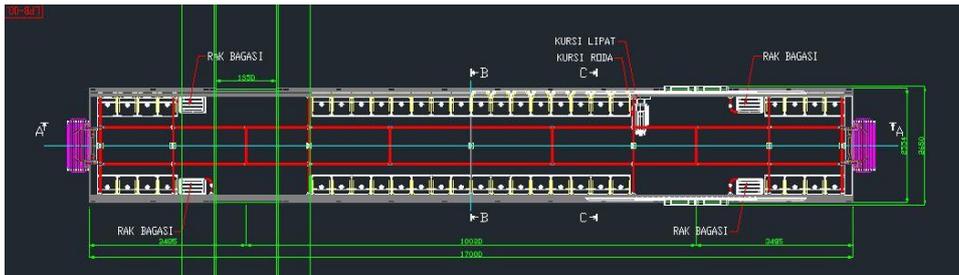
**Gambar 2.** Desain LRT Palembang bagian MC tampak samping



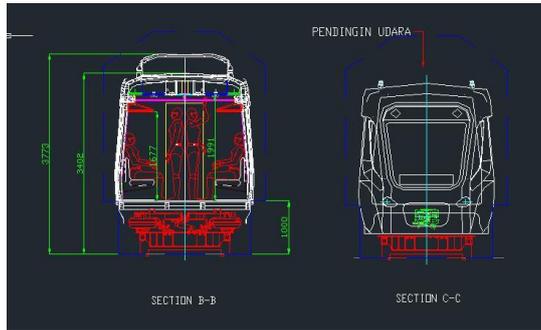
**Gambar 3.** Desain LRT Palembang bagian T tampak samping



**Gambar 4.** Desain LRT Palembang bagian MC tampak atas



**Gambar 5.** Desain LRT Palembang bagian T tampak atas



**Gambar 6.** Desain LRT Palembang bagian MC tampak depan



**Gambar 7.** Desain LRT Palembang bagian T tampak depan

## BIODATA PENULIS



Nama penulis Yaritsa Adnin Majid dilahirkan di Tegal, tanggal 1 Maret 1995 dari bapak yang bernama Etik Setiadi dan ibu bernama Herlien Sunaringtyas. Saat ini penulis tinggal di Perum. Jatijajar D24/18 Depok, Jawa Barat. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Mekarjaya 11 pada tahun 2007, pendidikan di SMPN 4 Depok pada tahun 2010, pendidikan di SMA Bintara Depok pada tahun 2013 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

Pada bulan Mei 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisa Kenyamanan Termal pada Gerbong *Light Rail Transit* (LRT) Palembang terhadap Variasi Bentuk *Ducting* menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : [yaritsaadnin@gmail.com](mailto:yaritsaadnin@gmail.com)