



**TUGAS AKHIR - TF 141581**  
**ANALISIS *DUCTING***  
**PADA SISTEM PENGKONDISIAN UDARA**  
**KERETA UKUR PT INKA 2015**

INTAN LURUH LARASATI  
NRP 2413 100 139

Dosen Pembimbing  
Ir. Sarwono, MM  
Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

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





***FINAL PROJECT TF 141581***

***ANALYSIS OF DUCTING  
AT AIR CONDITIONING SYSTEM  
KERETA UKUR (MEASUREMENT TRAIN)  
PT INKA 2015***

***INTAN LURUH LARASATI  
NRP. 2413 100 139***

***Supervisor  
Ir. Sarwono, MM  
Dr. Ridho Hantoro, ST., MT***

***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 : Intan Luruh Larasati  
NRP : 2413100139  
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 **“Analisis *Ducting* pada Sistem Pengkondisian Udara Kereta Ukur PT INKA 2015”** 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, 24 Juli 2017  
Yang membuat pernyataan,

Intan Luruh Larasati  
NRP. 2413 100 139



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS *DUCTING*  
PADA SISTEM PENGKONDISIAN UDARA  
KERETA UKUR PT INKA 2015**

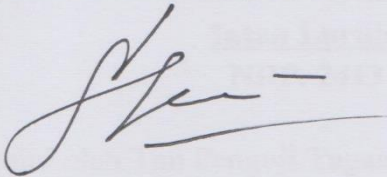
Oleh:

Intan Luruh Larasati

NRP. 2413 100 140

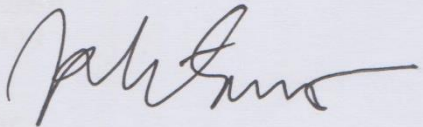
Surabaya, 24 Juli 2017

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I**



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

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing II**



Dr. Ridho Hantoro, ST, MT  
NIP. 19761223 200501 1 001

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



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIPN. 19780902 200312 1 002





**ANALISIS DUCTING  
PADA SISTEM PENGKONDISIAN UDARA  
KERETA UKUR PT INKA 2015**

**TUGAS AKHIR**

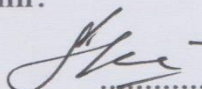
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

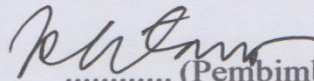
**Intan Luruh Larasati**  
**NRP. 2413 100 139**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

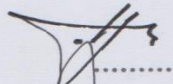
1. Ir. Sarwono, M.M

 ..... (Pembimbing I)

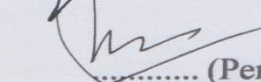
2. Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

 ..... (Pembimbing II)


3. Ir. Roekmono, M.T.

 ..... (Ketua Penguji)

4. Harsono Hadi, Ph.D

 ..... (Penguji)

5. Lizda Johar, ST., MT

 ..... (Penguji)

**SURABAYA  
JULI 2017**



**ANALISIS *DUCTING***  
**PADA SISTEM PENGKONDISIAN UDARA**  
**KERETA UKUR PT INKA 2015**

**Nama Mahasiswa** : Intan Luruh Larasati  
**NRP** : 2413 100 139  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Pembimbing** : 1. Ir. Sarwono, MM  
2. Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

**Abstrak**

Kereta ukur yang diproduksi tahun 2015 tergolong kurang nyaman karena distribusi udara dan temperatur kurang baik jika merujuk pada Permen Perhub RI mengenai kenyamanan termal didalam kereta. Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengetahui distribusi kecepatan pada *ducting* serta distribusi temperatur dan kecepatan pada gerbong kereta untuk mencapai kenyamanan termal. Penelitian ini memiliki 4 simulasi utama yang terdiri dari model Kereta Ukur dan tiga variasi desain baru berdasarkan dimensi *outlet ducting*. Hal ini dilakukan untuk memperoleh hasil simulasi berupa kontur kecepatan pada *ducting* serta kontur temperatur dan kecepatan udara pada gerbong. Penelitian ini dilakukan dengan spesifikasi 12 *outlet* yang jarak antar *outlet ducting*nya sebesar 1300 mm dengan luasan *outlet* 200 x 50 mm. Hasil dari penelitian ini adalah distribusi kecepatan pada *ducting* yang merata dengan temperatur rata-rata pada gerbong sebesar 23,8°C dan kecepatan 0,4 m/s.

**Kata Kunci:** Kenyamanan Termal, Optimasi *ducting*, Kereta Ukur PT INKA 2015, CFD



**ANALYSIS OF DUCTING  
AT AIR CONDITIONING SYSTEM  
KERETA UKUR PT INKA 2015**

**Name** : Intan Luruh Larasati  
**NRP** : 2413 100 139  
**Program Study** : S1 Engineering Physics  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisor** : 1. Ir. Sarwono, MM  
2. Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

***Abstract***

*The measurement train which is fabricated in 2015 is classified to be uncomfortable based on its air distribution and temperature which is not decent according to Permen Perhub RI about thermal comfort in a train. In this experiment it has already been conducted the simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD) to know the velocity distribution of the ducting as well as its temperature and velocity distribution of a train vehicle to attain the thermal comfort. This experiment has 4 main simulations which is consisting of Measurement Train model and three variations of new design based on ducting outlet dimension. It is conducted to obtain the simulation result of velocity contour of the ducting as well as temperature and air velocity contour of a vehicle. This experiment is conducted with the specification of 12 outlets which the space between its ducting outlet is 1300mm with the outlet area of 200x50mm. The result of this experiment is velocity distribution of the ducting which is well distributed with the vehicle average temperature of  $23,8^{\circ}\text{C}$  and velocity of  $0,4\text{m/s}$ .*

**Keywords : Thermal Comfort, Duct Optimization, Kereta Ukur PT INKA 2015, CFD**



## 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 **“ANALISIS *DUCTING* PADA SISTEM PENGKONDISIAN UDARA KERETA UKUR PT INKA 2015”**

Tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang telah memberikan dukungan terhadap penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak Ir. Sarwono, M.M selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir ini.
3. Bapak Ridho Hantoro, ST.,MT selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir ini dan dosen wali, yang telah membimbing serta memberikan 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 yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga tugas akhir ini.
7. Teman-teman asisten Lab laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan serta laboratorium Rekayasa Instrumentasi Teknik Fisika ITS yang memberikan bantuan serta motivasi
8. Fanisa, Yaritsa, Laily, Fely, Siwi,Tata, Rio, Riza, Hanifan serta teman-teman TAwan dan F48

9. Yovita Teknik Fisika dan Albina Gita (TF UGM 2013) yang sudah mengajari simulasi dengan telaten.
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, Juli 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
<i>cover</i> .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
ANALISIS <i>DUCTING</i> .....	ix
Abstrak .....	xi
<i>Abstract</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kereta Ukur .....	5
2.2 Kenyamanan Termal.....	6
2.3 Pengondisian Udara pada Kereta Ukur 2015 .....	7
2.4 Sistem Distribusi Udara .....	10
2.5 <i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	12
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>15</b>
3.1 Alur Penelitian.....	15
3.2 Objek Penelitian .....	18
3.3 Perbaikan <i>Ducting</i> Baru .....	21
3.4 Simulasi CFD pada Kereta Ukur 2015 .....	21
<b>BAB IV ANALISIS DATA.....</b>	<b>29</b>
4.1 Kenyamanan Termal Kereta Ukur 2015 Kondisi Aktual.....	30
4.2 Analisis pada Gerbong Kereta Kondisi Aktual dengan CFD .....	30
4.3 Analisis pada <i>Ducting</i> Kereta Kondisi Aktual dengan CFD .....	33
4.4 Analisis CFD Kereta Ukur Variasi 1 .....	40
4.5 Analisis CFD Kereta Ukur Variasi 2 .....	46

4.6 Analisis CFD Kereta Ukur Variasi 3.....	51
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>57</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1</b>	Daerah dengan kondisi kecepatan udara dari ducting pada Kereta ukur paling tinggi .....	2
<b>Gambar 2. 1</b>	Kereta Ukur 2015 .....	5
<b>Gambar 2. 2</b>	Desain interior Kereta Ukur 2015 .....	6
<b>Gambar 2. 3</b>	Siklus Refrigerant pada Kereta Ukur 2015 .....	8
<b>Gambar 2. 4</b>	Desain Ducting Kereta Ukur 2015 .....	11
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Penelitian Tugas Akhir .....	17
<b>Gambar 3. 2</b>	Gerbong Kereta Ukur 2015 .....	18
<b>Gambar 3. 3</b>	Titik Pengukuran Suhu dan Kelembaban di Kereta .....	19
<b>Gambar 3. 4</b>	Desain Geometri Kereta Ukur 2015 pada CFD..	23
<b>Gambar 3. 5</b>	Desain Geometri Kereta Ukur 2015 .....	24
<b>Gambar 3. 6</b>	Desain Ducting tampak atas .....	24
<b>Gambar 3. 7</b>	<i>Meshing Edge</i> Geometri Kereta Ukur 2015 .....	25
<b>Gambar 3. 8</b>	Steamline pada ducting.....	27
<b>Gambar 3. 9</b>	Steamline pada elbow.....	27
<b>Gambar 3. 10</b>	Kecepatan pada <i>outlet</i> ducting dari bawah .....	28
<b>Gambar 4.1</b>	Data pengambilan data pada CFD.....	29
<b>Gambar 4. 2</b>	Distribusi Temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh ducting pada plane 0,75 m di atas lantai ....	31
<b>Gambar 4. 3</b>	Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh ducting pada plane 1300mm di atas lantai .....	32
<b>Gambar 4. 4</b>	Aliran udara dalam kereta ukur kondisi aktual...	32
<b>Gambar 4. 5</b>	Distribusi kecepatan pada ducting Aktual Kereta Ukur.....	33
<b>Gambar 4. 6</b>	Distribusi tekanan pada <i>ducting</i> aktual.....	34
<b>Gambar 4. 7</b>	Distribusi kecepatan pada ducting tanpa lubang	35
<b>Gambar 4. 8</b>	Distribusi tekanan pada ducting tanpa outlet.....	35

<b>Gambar 4. 9</b>	Distribusi kecepatan pada <i>ducting</i> dengan <i>outlet</i> di <i>ducting</i> tengah.....	36
<b>Gambar 4. 10</b>	Distribusi tekanan pada <i>ducting</i> dengan <i>outlet</i> tengah.....	37
<b>Gambar 4. 11</b>	Kecepatan pada <i>outlet ducting</i> .....	37
<b>Gambar 4. 12</b>	Distribusi kecepatan pada <i>ducting</i> tanpa lubang .....	38
<b>Gambar 4. 13</b>	Kecepatan pada <i>outlet ducting</i> kanan.....	39
<b>Gambar 4. 14</b>	Kecepatan pada <i>outlet ducting</i> kiri.....	39
<b>Gambar 4. 15</b>	Distribusi <i>pressure</i> pada <i>ducting</i> dengan <i>outlet</i> pinggir.....	40
<b>Gambar 4. 16</b>	Distribusi kecepatan pada <i>ducting</i> dengan jarak 1100mm .....	41
<b>Gambar 4. 17</b>	Kecepatan pada <i>outlet ducting</i> kanan.....	42
<b>Gambar 4. 18</b>	Kecepatan pada <i>outlet ducting</i> tengah.....	42
<b>Gambar 4. 19</b>	Kecepatan pada <i>outlet ducting</i> kiri.....	43
<b>Gambar 4.20</b>	Distribusi <i>pressure</i> pada <i>ducting</i> dengan jarak 1100mm .....	43
<b>Gambar 4. 21</b>	Distibusi Temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh <i>ducting</i> pada plane 750 mm di atas lantai44	
<b>Gambar 4. 22</b>	Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh <i>ducting</i> pada plane 1300mm di atas lantai .....	45
<b>Gambar 4. 23</b>	Streamline dalam kereta ukur variasi 1 .....	46
<b>Gambar 4. 24</b>	Distribusi kecepatan pada variasi 2.....	47
<b>Gambar 4. 25</b>	Distribusi <i>pressure</i> pada variasi 2.....	48
<b>Gambar 4. 26</b>	Distibusi Temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh variasi 2 pada plane 0,75 m di atas lantai	49
<b>Gambar 4. 27</b>	Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh <i>ducting</i> pada plane 0,75m di atas lantai. ....	50

<b>Gambar 4. 28</b>	Streamline dalam kereta ukur .....	50
<b>Gambar 4. 29</b>	Distribusi kecepatan pada variasi 3 .....	51
<b>Gambar 4. 30</b>	Distribusi pressure pada variasi 3.....	52
<b>Gambar 4. 31</b>	Distibusi Temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh variasi 2 pada plane 0,75 m di atas lantai	53
<b>Gambar 4. 32</b>	Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh ducting pada plane 0,75m di atas lantai. .....	54
<b>Gambar 4. 33</b>	Streamline dalam kereta ukur .....	54

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2. 1</b> Spesifikasi Kereta Ukur 2015 .....	6
<b>Tabel 2. 2</b> Spesifikasi AC Kereta Ukur 2015 .....	9
<b>Tabel 3. 1</b> Data Pengambilan Data Kereta Ukur 2015 .....	20
<b>Tabel 3. 2</b> Kondisi batas kereta pada keadaan aktual.....	22
<b>Tabel 3. 3</b> Penentuan Parameter Simulasi Tahap Solver .....	25

*“Halaman ini memang dikosongkan”*



# **BAB I**

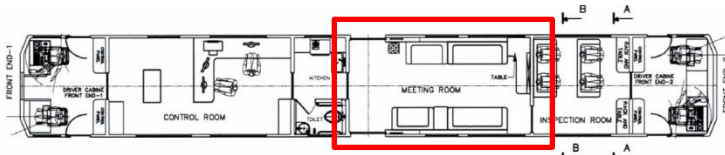
## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem pemanas, ventilasi dan pendingin udara (HVAC) saat ini menjadi hal yang sangat penting pada bangunan dan kendaraan (R. N. Hofstädter & M. Kozek). Tujuan dipasang HVAC pada kendaraan adalah untuk menyediakan dan menjadikan lingkungan yang nyaman bagi pengendara dan penumpang. Untuk bersaing dengan kendaraan pribadi, transportasi umum (seperti kereta, trem) telah melengkapi kendaraan dengan sistem HVAC (Bart Beusen, 2013) (Christian Luger, 2015) (J.P. Powell, 2014) .

PT INKA sebagai satu-satunya produsen kereta di Indonesia telah memproduksi berbagai macam kereta mulai kereta penumpang, lokomotif, dan juga kereta listrik. Salah satu kereta yang telah diproduksi adalah kereta ukur yang akan digunakan untuk daerah Jawa, Sulawesi, dan Sumatera. Kereta Ukur adalah kereta yang digunakan oleh Menteri Perhubungan Indonesia untuk melihat apakah jalur kereta dalam keadaan baik atau tidak. Ruangan pada kereta ukur membutuhkan sistem pengondisian udara dengan penentuan kapasitas mesin pendingin agar Temperatur ruangan dan kecepatan udara yang keluar dari sistem aliran udara dapat memenuhi kenyamanan yang dipersyaratkan. Selain itu, dibutuhkan sistem *ducting* yang sesuai agar aliran udara dalam ruangan dapat terdistribusi dengan baik. Faktor – faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal seseorang di dalam ruangan adalah Temperatur udara kering, kelembaban udara relatif, pergerakan udara, radiasi permukaan panas, aktifitas atau metabolisme seseorang dan pakaian yang digunakan (Standar Nasional Indonesia, 2001; Haller G. a.). Berdasarkan SNI 03-6572-2001 untuk memenuhi kenyamanan termal pengguna bangunan dengan zona untuk orang Indonesia yaitu  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

serta kelembaban udara relatif  $55\% \pm 10\%$ . Berdasarkan Peraturan Menteri perhubungan no 175 tahun 2015 tentang pengondisian udara, kondisi ruangan pada kereta adalah  $22-26^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan aliran maksimum sebesar  $0.5 \text{ m/s}$  dan kelembaban relatif  $50-60\%$ .



**Gambar 1. 1** Daerah dengan kondisi kecepatan udara dari ducting pada Kereta ukur paling tinggi

Kereta ukur yang telah diproduksi tahun 2015 mengalami kondisi yang kurang nyaman dirasakan yang disebabkan oleh distribusi udara yang kurang baik. Pada bagian tengah kereta, kecepatan udara yang dirasakan sangat tinggi dan diperlukannya analisis lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain ulang sistem *ducting* dan mengetahui perubahan Temperatur dan sistem pengkondisi udara pada desain kereta ukur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana distribusi kecepatan, Temperatur udara pada sistem pengondisian udara pada kereta ukur PT INKA?
- Bagaimana perbaikan *ducting* yang menghasilkan pengondisian udara yang sesuai dengan peraturan yang berlaku?

## 1.3 Tujuan

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini bertujuan untuk:

- Mendapatkan distribusi kecepatan, Temperatur udara pada sistem pengondisian udara pada kereta ukur PT INKA

- b. Mendapatkan perbaikan *ducting* yang menghasilkan pengondisian udara yang sesuai dengan peraturan yang berlaku

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- Standar yang digunakan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia no 175 tahun 2005
- Pengambilan data aktual dilakukan pada kereta ukur 2015 pada tanggal 14 Februari 2017.
- Pengambilan data aktual dilakukan di PT INKA
- Pengukuran Temperatur dan kelembaban udara relatif hanya dilakukan pada ruang penumpang kereta.
- Keadaan diasumsikan *Steadystate*
- Sifat-sifat udara tidak berubah terhadap waktu (konstan)
- Geometri dimodelkan mendekati bentuk sebenarnya
- Total *pressure drop* yang diperbolehkan adalah 196
- Temperatur udara rata-rata ruangan yang diinginkan ( $T_r$ ) = 26°C
- Temperatur udara dilingkungan = 35°C
- Tidak ada perubahan material yang digunakan pada perbaikan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kereta Ukur**

PT INKA sebagai satu-satunya produsen kereta di Indonesia telah memproduksi berbagai macam kereta mulai kereta penumpang, lokomotif, dan juga kereta listrik. Salah satu kereta yang telah diproduksi adalah kereta ukur yang akan digunakan untuk daerah Jawa, Sulawesi, dan Sumatera. Kereta ukur adalah kereta yang digunakan oleh Kementerian Perhubungan Republik Indonesia yang digunakan untuk melakukan pengukuran meliputi : pengujian posisi jalan rel, pengukuran profil rel, pengukuran geometri jalan rel, dan pengukuran geometri kawat *trolley* listrik aliran atas. Kereta Ukur ini bisa jadi sebagai antisipasi awal atau tindakan preventif untuk pengecekan seluruh jalur di pulau Jawa, Sulawesi, dan Sumatera. Untuk itu sarana jalan rel harus dipastikan aman dan tidak ada gangguan yang mungkin saja bisa terjadi sewaktu-waktu.



**Gambar 2. 1 Kereta Ukur 2015 PT INKA**

**Tabel 2. 1** Spesifikasi Kereta Ukur 2015

No	Komponen	Keterangan
1	Tahun pembuatan	2015
2	Kecepatan maksimum	100 m/s
3	Panjang kereta	22000 mm
4	Lebar kereta	3250 mm
5	Tinggi kereta	4000 mm



**Gambar 2. 2** Desain interior Kereta Ukur 2015  
(Sumber : PT INKA)

## 2.2 Kenyamanan Termal

Gabriel Haller mendefinisikan *Comfort Thermal* pada standar ISO 7730 sebagai "Kondisi itu pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal" (Haller G. , 2006). Kenyamanan termal adalah terciptanya keseimbangan suhu tubuh manusia dengan lingkungannya. Ruangan dengan kondisi yang nyaman sangat di butuhkan penghuni di dalamnya untuk melakukan suatu aktivitas. Peningkatan produktivitas kerja dapat dicapai apabila lingkungan kerja disekitarnya nyaman dan kondusif.

Berdasarkan standart SNI 03-6572-2001 bahwa di Indonesia yang merupakan negara tropis mempunyai kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40 % - 50 % tetapi jika jumlah orang lebih banyak yang berada pada suatu ruangan maka kelembaban udara relatif dianjurkan antara 55% - 70% dengan suhu nyaman yaitu  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan udara yang dapat dipertahankan dalam kondisi nyaman adalah kecepatan udara yang jatuh dikepala penumpang tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik dan harus lebih kecil dari 0,15 m/detik (SNI, 2011).

Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia no 175 tahun 2005 pada Pasal 21 ayat 2 disebutkan bahwa alat pengondisian udara (*Air conditioning*) harus memenuhi persyaratan : Temperatur sebesar 22-26°C dan kelembaban udara relatif 50% - 60%. Kecepatan udara yang diterima penumpang maksimum 0.5 m/s, udara segar (*fresh air*) min 9 m<sup>3</sup>/jam untuk setiap penumpang, dan menggunakan refrigeran sesuai dengan peraturan Lingkungan Hidup. (14750-1:2006, 2006)

Kebutuhan *fresh air* sesuai standar EN-14750 untuk kereta pada kategori A dengan lama keberadaan penumpang >20 min dan jumlah penumpang > 4 memiliki kebutuhan *fresh air* masing-masing penumpang adalah 10 – 15 m<sup>3</sup>/h/passanger. Untuk kategori B dengan lama keberadaan penumpang < 20 min dan jumlah penumpang ≤ 4 memiliki kebutuhan *fresh air* masing-masing penumpang adalah 8 – 12 m<sup>3</sup>/h/passanger

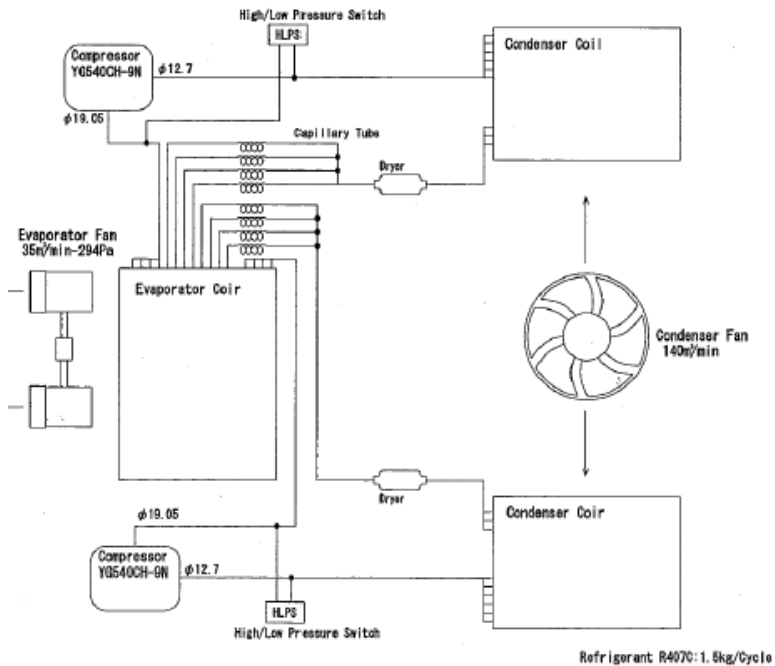
### 2.3 Pengondisian Udara pada Kereta Ukur 2015

Pengondisian udara adalah suatu usaha yang dilakukan untuk mengendalikan kondisi termal udara, kualitas udara dan penyebarannya di dalam ruang dalam rangka pemenuhan persyaratan kenyamanan termal pengguna bangunan (SNI, 2011). Kereta Ukur 2015 dilengkapi dengan 2 AC paket (*unitary model*).

Komponen *Air Conditioning Unit* pada kereta ukur 2015 :

1. *Compressor*
2. *Condenser blower unit*
3. *Evaporator blower unit*
4. *Condenser coil*
5. *Evaporator coil*
6. *Filter-dryer*
7. *High/low-pressure switch*
8. *Distributor with capillary tube*
9. *Refrigerant*
10. *Fresh air filter and return air filter*
11. *Electric connector*
12. *High Temperatur detector*
13. *Temperatur sensor*

14. Room Temperatur thermostat
15. Outside cover
16. Inside cover
17. Side cover



**Gambar 2. 3** Siklus refrigerant pada Kereta Ukur 2015  
(Sumber : PT INKA)

Proses siklus refrigerasi pada gambar 2.3, *refrigerant* dikompresi menjadi gas tekanan tinggi dan suhu tinggi pada kompresor. Gas *refrigerant* suhu tinggi tekanan tinggi memasuki kumparan kondensor, di mana terkondensasi menjadi *liquid* oleh udara ambien yang diberikan oleh fan kondensor. Kemudian *liquid* tekanan tinggi mengalir ke tabung kapiler melalui *filter-dryer*. Kelembaban pada *refrigerant* dihilangkan dalam *filter-dryer*.



*Refrigerant* cair didekompresi oleh tabung kapiler dan berubah menjadi *liquid* tekanan rendah dan masuk ke evaporator. Dalam evaporator, *liquid* evaporator menyerap panas dari luar kemudian *liquid* tadi akan menjadi gas kembali dan dihisap oleh kompresor. Siklus ini akan berlanjut, dan udara dingin yang dikeluarkan evaporator akan dialirkan oleh *ducting* yang letaknya diatas bagasi penumpang kereta (PT INKA). Spesifikasi AC paket di kereta ukur 2015 dapat dilihat pada lampiran B. dengan tipe RPU 6035 V Toshiba.

**Tabel 2. 2** Spesifikasi AC Kereta Ukur 2015

<i>Item</i>		<i>Performance</i>	<i>Description</i>
<i>Air conditioning capacity</i>		<i>17.5 kW or more (15000 kcal/h)</i>	<i>Performance test condition Condenser coil inlet air Temperatur Dry bulb: 35.0° C Evaporator coil inlet air Temperatur Dry-bulb 26.0° C Wet-bulb 21.2° C</i>
<i>Air flow rate</i>	<i>Circulation</i>	<i>35 m3/min/unit</i>	
	<i>Return</i>	<i>27 m3/min/unit</i>	
	<i>Fresh</i>	<i>8.0m3/min/unit</i>	
<i>Compressor</i>	<i>Type</i>	<i>Full hermetic horizontal scroll type</i>	<i>2/unit</i>
	<i>Output</i>	<i>3.0 kW</i>	
	<i>Current</i>	<i>5.5 A</i>	
	<i>Input</i>	<i>3.12 kW</i>	

<i>Evaporator blower unit</i>	<i>Type</i>	<i>Multi-blade fan Single axial Dual inlet</i>	<i>1/unit</i>
	<i>Air volume</i>	<i>35 m<sup>3</sup>/min</i>	
	<i>Static</i>	<i>294Pa(30 mmAq)</i>	
	<i>Output</i>	<i>0.75 kW</i>	
	<i>Current</i>	<i>1.36 A</i>	
	<i>Input</i>	<i>0.45 kW</i>	
	<i>No. of</i>	<i>4P</i>	
<i>Condenser blower unit</i>	<i>Type</i>	<i>Axial flow fan</i>	<i>1/unit</i>
	<i>Air flow</i>	<i>140m<sup>3</sup>/min</i>	
	<i>Static pressure</i>	<i>98 Pa (10 mmAq)</i>	
	<i>Output</i>	<i>kW</i>	
	<i>Current</i>	<i>3.1A</i>	
	<i>Input</i>	<i>1.23 kW</i>	
	<i>No. of</i>	<i>4P</i>	
<i>Refrigerant</i>	<i>R-407C</i>	<i>1.5 kg/cycle</i>	<i>3.0 kg / unit</i>
<i>Unit total Mass</i>		<i>310kg</i>	

## 2.4 Sistem Distribusi Udara

Sistem distribusi udara berfungsi mengarahkan dan pendistribusikan udara kedalam ruangan yang akan dikondisikan. Biasanya sistem pengkondisian udara terdiri atas fan, duct, *outlet*, dan sebagainya.

*Ducting* 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 untuk mengeluarkan udara secara langsung
2. Siku (*elbow*) untuk mengubah arah pergerakan udara
3. Peredam untuk menyesuaikan tingkat aliran udara dengan menghalangi sebagian aliran udara
4. T-junction untuk mendistribusikan aliran udara ke beberapa cabang
5. *Fan* untuk mendorong pergerakan udara

## 2.5 Computational Fluid Dynamics

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan ilmu yang digunakan untuk memprediksi aliran fluida, transfer massa dan panas, dan fenomena lain yang menggunakan persamaan matematika berdasarkan *finite element* dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer (Versteeg dan Malalasekera, 1995). Pada CFD digunakan persamaan kekekalan massa, kekekalan energi, dan kekekalan momentum untuk menghasilkan data prediksi yang dibutuhkan seperti tekanan, kecepatan, Temperatur, dan vektor.

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. Tahap setelah

geometri adalah tahap dimana sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering juga disebut dengan *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. Secara umum, tahap ini terdiri dari:

1. Pemodelan kereta
2. Pembuatan domain fluida
3. Optimasi model yang optimum
4. Pemilihan jumlah grid yang optimum

**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. Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD. Secara umum tahap ini terdiri dari:

1. Penentuan kondisi batas
2. Pemilihan jenis fluida
3. Penentuan kecepatan model
4. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
5. Penentuan batas konvergensi yang optimum

**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. Secara umum tahap ini terdiri dari:

1. Perhitungan distribusi kecepatan udara dan *pressure* pada *ducting*
2. Perhitungan distribusi distribusi kecepatan dan temperatur udara di gerbong kereta

#### d. Validasi/Verifikasi Hasil Simulasi

Validasi adalah representasi akurat dari dunia nyata dari sudut pandang penggunaan model (AIAA G-077-1998). Proses verifikasi perlu dilakukan untuk pengujian model ducting kereta melalui komputer. Verifikasi dilakukan untuk menunjukkan tingkat kebenaran dari simulasi yang dilakukan. Untuk menentukan tingkat kevalidan, dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu memastikan semua boundary condition dan inisialisasi telah sesuai dengan teori dan kasus aktual serta dengan cara membandingkan dengan sebuah acuan/standart yang telah ada dengan referensi yang jelas.

Keakurasian hasil analisis CFD ditentukan oleh 3 (tiga) faktor yaitu (NASA, 2008) :

1. Konvergensi, yaitu analisis dimana tingkat kesalahan yang dirancang dapat dipenuhi oleh model yang dikembangkan. Nilai konvergensi / *variable value* dibawah  $10^{-4}$ .
2. Studi *grid independence*, yaitu pengetahuan tentang efisiensi pemakaian grid.
3. Verifikasi, yaitu membandingkan hasil CFD dengan data lain yang ada sehingga secara realistis kebenaran dapat diterima.
4. *Examine Consistency*, yaitu pemeriksaan konsistensi pada fluida CFD. Misalnya, aliran dalam saluran harus menjaga konservasi massa melalui saluran. *Total pressure recovery* lebih lanjut pada inlet harus tetap konstan atau menurun melalui saluran.
5. Periksa Ketidakpastian Model, model fisik dalam kode CFD mengandung ketidakpastian karena kurang lengkap pemahaman atau pengetahuan tentang proses fisik. Salah satu model dengan paling banyak ketidakpastian adalah model turbulensi. Ketidakpastian dapat diperiksa dengan melakukan berbagai simulasi dengan berbagai model turbulensi yang berbeda dan memeriksa pengaruhnya pada hasil simulasi.

## **BAB III**

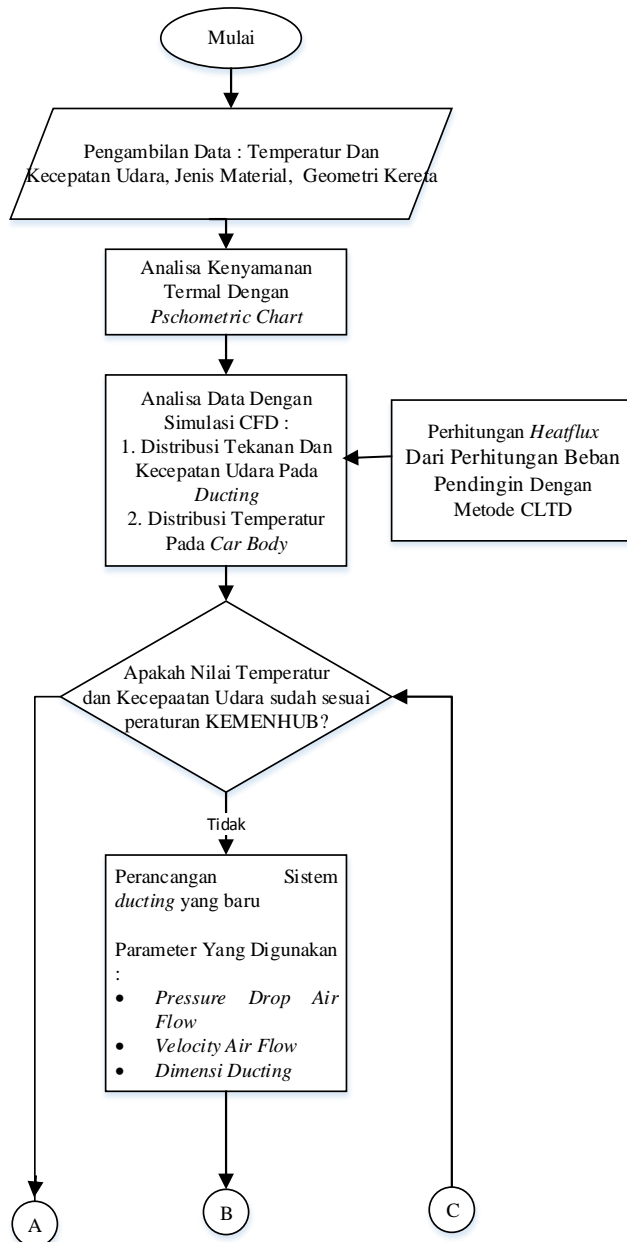
### **METODOLOGI**

#### **3.1 Alur Penelitian**

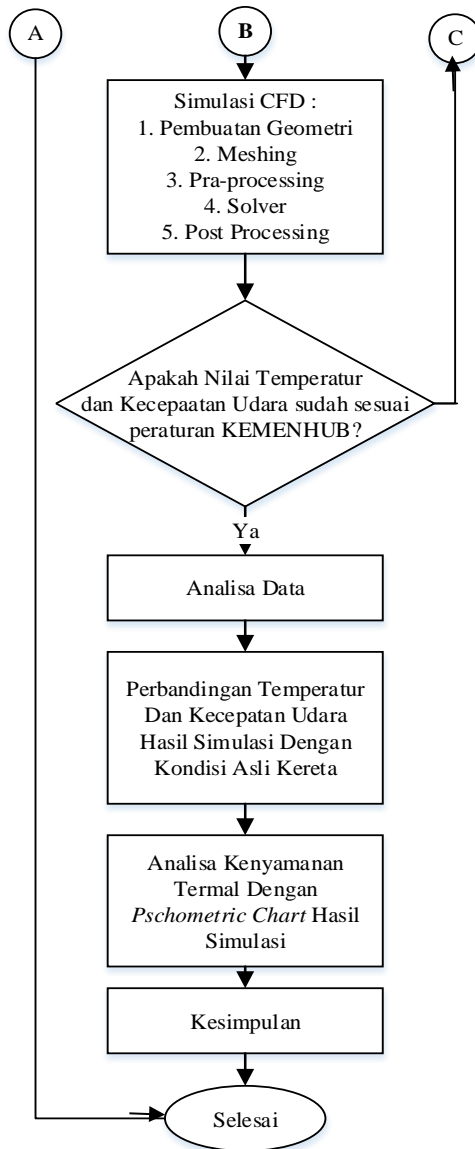
Tugas akhir ini berupa penelitian pada *ducting* pada sistem pengondisian udara Kereta Ukur PT INKA 2015. Tugas akhir ini dimulai dari penentuan kereta api yang akan diteliti yaitu Kereta Ukur PT INKA 2015. Kereta Ukur 2015 memiliki dua AC dengan jenis AC paket yang letaknya diatap kereta. Pengambilan data spesifikasi, jenis material, ukuran, pengambilan data Temperatur, kelembaban udara, dan tipe pengkondisian udara yang ada di Kereta Ukur PT INKA 2015 dilakukan di PT INKA Madiun. Data yang telah didapat dilakukan analisis baik memakai bagan psikometri dan juga dengan simulasi CFD.

Analisis kondisi *ducting* dilakukan menggunakan simulasi CFD, simulasi dilakukan sesuai dengan kondisi aktual yang terpasang di kereta. Optimasi *ducting* dilakukan dengan modifikasi *ducting* Kereta Ukur 2015 untuk mendapatkan distribusi udara pada *ducting* yang merata. Optimasi *ducting* kereta ukur 2015 juga dilakukan sebagai rekomendasi kepada PT INKA untuk perbaikan sistem pengondisian udara Kereta Ukur.

Pada simulasi CFD dibandingkan kondisi kontur Temperatur dan aliran udara dari Kereta Ukur yang aktual dan desain. Alur penelitian tugas akhir yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :

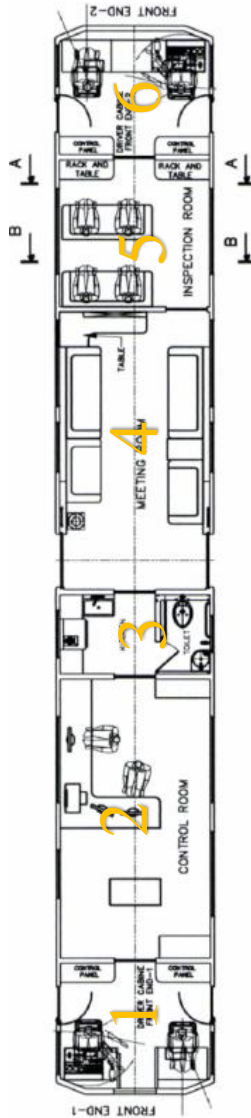






**Gambar 3. 1** Diagram Penelitian Tugas Akhir

### 3.2 Objek Penelitian



**Gambar 3. 2** Gerbong Kereta Ukur 2015  
(Sumber : PT INKA)

Keterangan gambar :

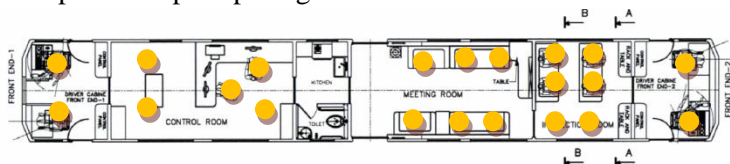
1. *Driver Room*
2. *Control Room*
3. *Dapur*
4. *Meeting Room*
5. *Inspection Room*
6. *Driver Room*

Kereta Ukur PT INKA adalah salah satu kereta yang telah diproduksi pada tahun 2015. Kereta ukur yang digunakan untuk daerah Jawa, Sulawesi, dan Sumatera. Kereta Ukur adalah kereta yang digunakan oleh Menteri Perhubungan Indonesia untuk melihat apakah jalur kereta dalam keadaan baik atau tidak. Spesifikasi kereta ukur 2015 dapat dilihat pada lampiran A.

*Air Conditioning (AC)* yang digunakan pada Kereta Ukur 2015 adalah 2 AC Paket Thosiba dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Debit keluaran tiap AC =  $0,5833 \text{ m}^3/\text{s}$
- Debit udara total yang dipasok oleh AC =  **$1,1666 \text{ m}^3/\text{s}$**
- Udara keluaran *evaporator* =  $14^\circ\text{C}$
- *Pressure drop* yang diizinkan pada sistem *ducting* =  $10 \text{ mmAq} = 196 \text{ Pa}$

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran suhu dan kelembaban yang ada di dalam kereta. Pengukuran suhu dan kelembaban di dalam kereta dilakukan di 1,5 m dari lantai pada beberapa titik seperti pada gambar 3.3.



**Gambar 3. 3** Titik pengukuran suhu dan kelembaban di Kereta Ukur 2015

**Tabel 3. 1** Data pengambilan data Kereta Ukur 2015

Titik ke	1,5 m dari lantai			Keluaran dari <i>outlet</i> (m/s)
	V (m/s)	T (°C)	RH	
1	0,06	30,2	55	0,56
2	0,03	29	49,4	0,46
3	0,08	24,6	48,7	0,57
4	0,1	24,2	48,5	2,25
5	0,15	24,5	47,5	2,05
6	0,11	20,2	58,1	0,32
7	0,12	20,1	57,6	0,37
8	0,16	22,3	48,8	3,8
9	0,36	22,8	43,5	7,67
10	0,37	21,8	52,5	6,25
11	0,65	20,7	56,2	2,91
12	0,4	20,3	53,7	3,8
13	0,81	19,7	54	3,06
14	0,04	19,9	55,2	0,26
15	0,08	20,1	55,7	0,37
16	0,06	20,2	57	0,63
17	0,11	20,2	58,1	0,36
18	0,2	20,3	60	0,34
19	0,11	20,4	54,7	1,39
20	0,86	20,7	58,7	2,88
21	0,48	20,9	57,7	2,94

Kondisi kereta pada pengambilan data adalah pada kondisi kereta berhenti.

### 3.3 Perbaikan *Ducting* Baru

Perbaikan *ducting* baru dilakukan dengan modifikasi *ducting* Kereta Ukur 2015 untuk mendapatkan hasil perbaikan/optimasi *ducting*. Berdasarkan standart SNI 03-6572-2001 bahwa untuk zona untuk orang indonesia yaitu  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara relatif  $55\% \pm 10\%$ . Selain itu berdasarkan Peraturan Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala manusia tidak boleh lebih besar dari 0,5 m/s.

### 3.4 Simulasi CFD pada Kereta Ukur 2015

Desain Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aliran udara pada *ducting* dan pada kereta ukur PT INKA 2015 serta distribusi temperatur di ruang kereta. Desain geometri yang dilakukan adalah pada kondisi aktual kereta, kereta dengan modifikasi pada *ducting* pada Kereta Ukur PT INKA.

#### 3.4.1 *Pre-Processing*

Pre-Processing dimulai dengan membuat desain geometri 3D pada *Design Modeler*. Sketsa dibuat pada bidang XY dengan ukuran 15x18 cm. Kemudian sketsa bidang XY di *extrude* dengan ukuran 200 cm. Desain pada *Design Modeler* adalah desain yang merepresentasikan ukuran dan kondisi asli Kereta Ukur PT INKA 2015. Geometri digambarkan dengan bentuk-bentuk yang sederhana tetapi tidak mengubah dimensi dari bendanya. Terdapat dua buah AC untuk mendinginkan seluruh ruang dalam kereta ukur. Posisi AC berada ditengah kereta. Kereta terdiri dari ruang-ruang yang dipisahkan oleh sekat-sekat antar ruang, maka dari itu diperlukan *ducting* AC tersendiri untuk mensupply udara dari AC. Model *ducting* dibuatkan lubang untuk *supply* ke ruangan dengan dimensi 300mm x 75mm. Model ini memiliki pengarah-pengarah dengan sudut  $45^{\circ}$ .

*Meshing* dilakukan dengan *sizing meshing*, dimana dengan ukuran elemen yang berbeda-beda. Untuk *car body meshing* dilakukan dengan ukuran 100 mm dengan metode mesh *Tetrahedron*, sedangkan untuk *ducting*, ukuran *meshing* yang digunakan 9 mm dengan metode *Tetrahedron Patch Conforming*. Untuk ukuran *meshing* pada lubang udara dan grill pengarah adalah 9 mm dengan metode mesh *Hexagonal*.

Di dalam proses *setup* memerlukan kondisi batas seperti *heat flux*, temperatur, dan kecepatan. *Heat flux* ( $q''$ ) merupakan laju transfer energi panas melalui suatu permukaan. Beban pendingin ( $Q$ ) dihitung dengan menggunakan metode CLTD dengan satuan tingkat panas diukur dalam *joule/detik* atau *watt* (W) dapat dilihat pada lampiran H, sehingga *heat flux* merupakan tingkat panas persatuan luas dengan satuan  $\text{watt/m}^2$  ( $\text{W/m}^2$ ).

Mengacu dari pengertian *heat flux* di atas, maka akan didapatkan :

$$q'' = \frac{Q}{A} \quad (3.1)$$

Dimana

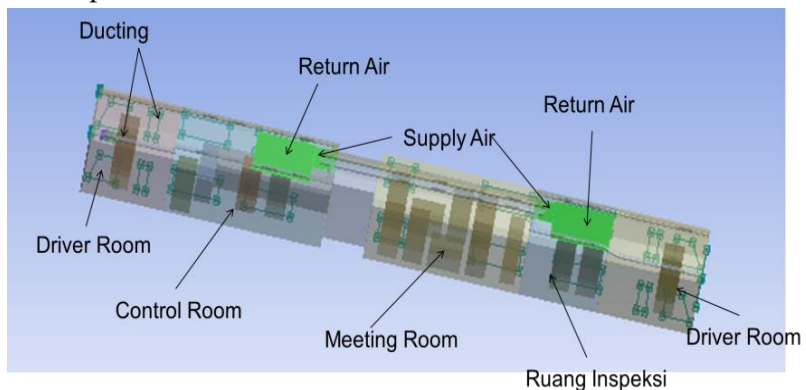
$$\begin{aligned} q'' &= \text{Heat flux (W/m}^2\text{)} \\ Q &= \text{Total Beban Pendingin (W)} \\ A &= \text{Luas (A)} \end{aligned}$$

**Tabel 3. 2** Kondisi batas kereta pada keadaan aktual

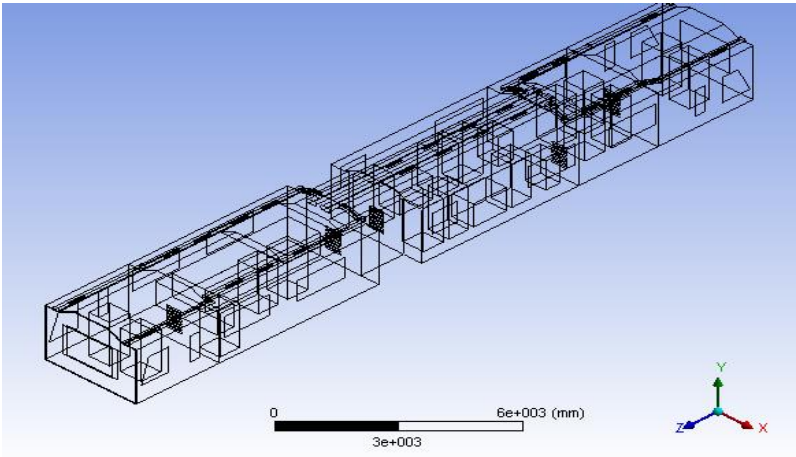
Nama	Keterangan	Tipe Kondisi Batas
Inlet	V = 11.423 m/s T = 14 ° C	AC 1&2

<i>Outlet Return</i>	<i>T 299 K</i>	<i>Return Air</i>
Penumpang	<i>heat flux = 43,28 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Atap	<i>heat flux = 41,68 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
lantai Meeting Room	Temperatur = 50°C	<i>Wall</i>
Dinding Kanan	<i>heat flux = 34,29 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Dinding Kiri	<i>heat flux = 43,96 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Dinding depan	<i>heat flux = 20,06 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Dinding Belakang	<i>heat flux = 40,54 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Jendela Kanan	<i>heat flux = 192,50 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Jendela Kiri	<i>heat flux = 202,25 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Jendela Depan	<i>heat flux = 54,76 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Jendela Belakang	<i>heat flux = 108,39 W/m<sup>2</sup></i>	<i>Wall</i>
Partisi	<i>T = 295</i>	<i>Wall</i>

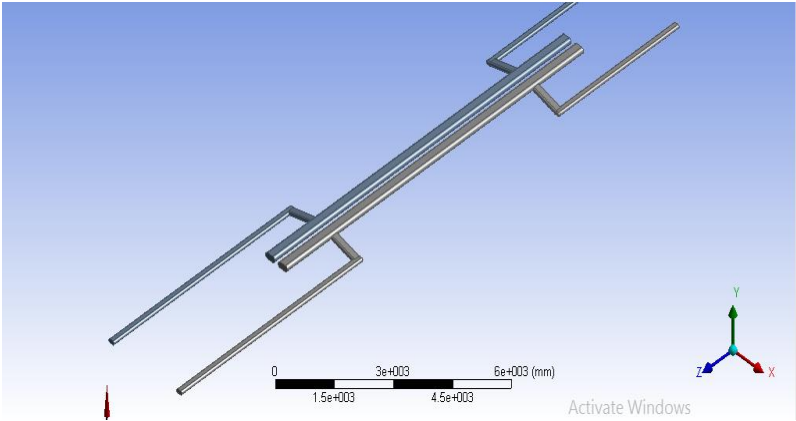
Pada gambar 3.4, 3.5 dan 3.6 adalah hasil pembuatan desain geometri dengan simulasi CFD. Untuk kondisi batas dapat dilihat pada Tabel 3.2



**Gambar 3. 4** Desain geometri Kereta Ukur 2015 pada CFD

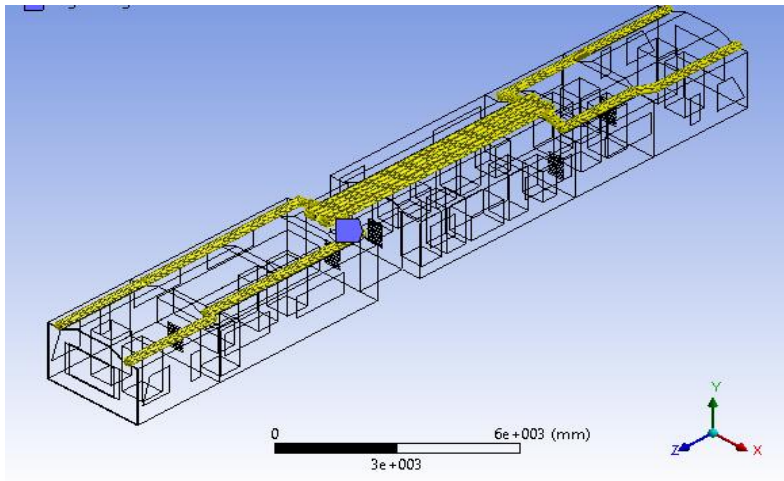


**Gambar 3. 5** Desain geometri Kereta Ukur 2015



**Gambar 3. 6** Desain ducting tampak atas





**Gambar 3. 7** *Meshing Edge* geometri Kereta Ukur 2015

### 3.4.2. Solver

Tahapan ini berupa penentuan skala model, dan perhitungan iterasi dengan parameter pada tabel 3.3 yang telah ditentukan sebelumnya. Persamaan yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah persamaan energi dan model turbulen k-omega *Standar wall Function*.

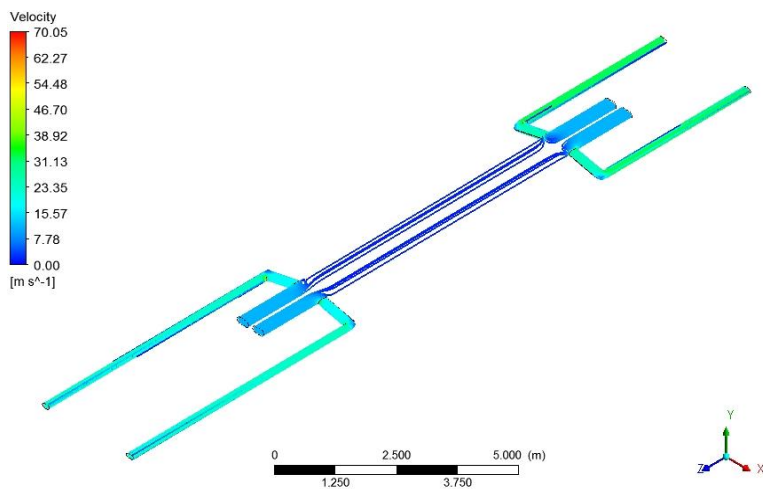
**Tabel 3. 3** Penentuan Parameter Simulasi Tahap Solver

No	Parameter	Jenis
1	<i>Model</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Energy Equation</i></li> <li>• <i>K-<math>\omega</math> SST</i></li> <li>• <i>pressure based steady</i></li> </ul>
2	<i>Operating conditions</i>	$P = 101325 \text{ Pa}$ $T = 35^{\circ}\text{C}$ , $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ $\rho = 1,2257 \text{ kg/m}^3$

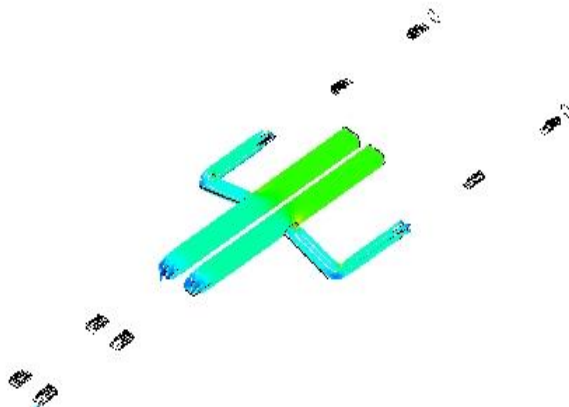
3	<i>Boundary Condition</i>	<i>Velocity Inlet; <math>V_{ref} = 11.423 \text{ m/s}</math> Pressure Outlet; Pressure gauge = 0 pascal</i>
3	Model Geometri	3 Dimensi
4	Keadaan	<i>Steady</i>
5	<i>Material Properties</i>	<i>Fluid : Air Solid : Rockwool Aluminium Human Ducting Wall</i>
6	<i>Solution methods</i>	<i>SIMPLE scheme Gradient : Pressure : Standard Momentum : Second Order Upwind Specific Dissipation Rate : Second Order Upwind</i>
7	<i>Convergence</i>	$10^{-6}$

### 3.4.2. *Post-Processing*

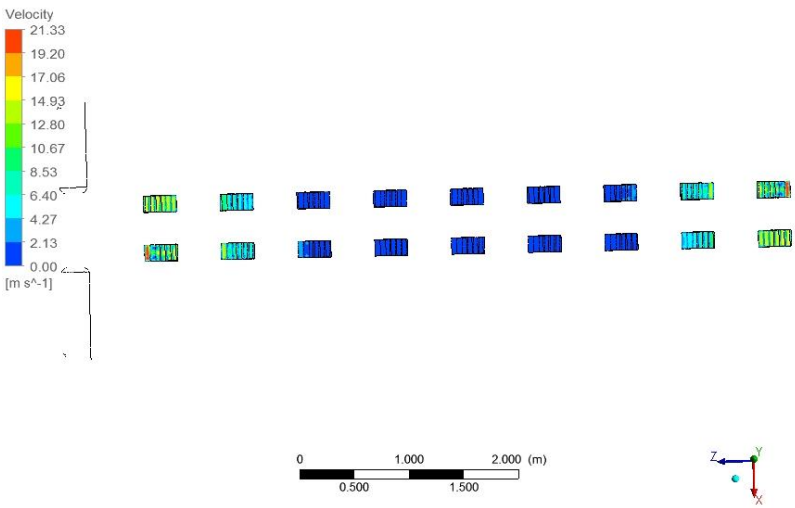
Tahap ini adalah hasil dari perhitungan iterasi simulasi CFD yang dapat ditampilkan dengan kontur temperatur dan kecepatan udara serta pergerakan aliran udara (*Streamline*).



**Gambar 3. 8** Steamline pada *ducting*



**Gambar 3. 9** Steamline pada *elbow*

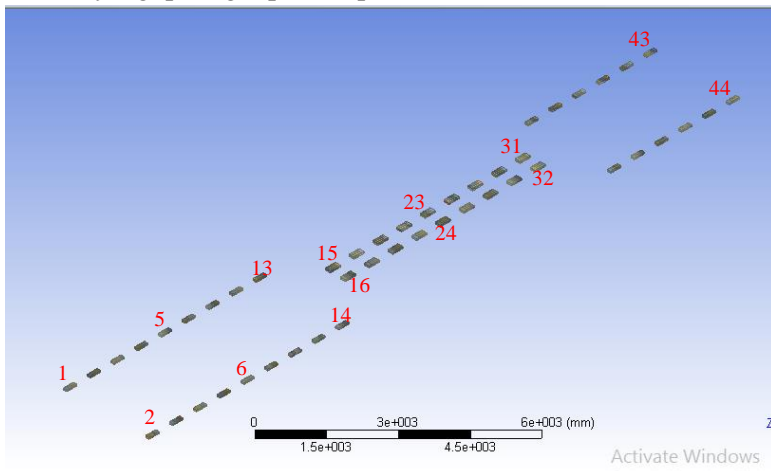


**Gambar 3. 10** Kecepatan pada *outlet* ducting dari bawah

## BAB IV

### ANALISIS DATA

Dalam bab ini ditampilkan hasil simulasi dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dan kecepatan pada gerbong kereta dan mendapatkan kenyamanan termal pada kereta ukur PT INKA dengan variasi dimensi *outlet ducting* menuju gerbong pada simulasi dengan metode CFD. Selain distribusi temperatur dan kecepatan digerbong, disertakan pula profil kecepatan fluida dan tekanan dalam *ducting*. Hal ini diperlukan untuk mendapat hasil pengondisian udara yang sesuai dengan standar dari Kementerian Perhubungan Republik Indonesia yaitu kecepatan udara yang mengenai penumpang maksimal 0,5 m/s dengan temperatur pada gerbong maksimal 26°C. Di akhir analisis, seluruh hasil simulasi dibandingkan sehingga didapat *ducting* dan tingkat kenyamanan termal yang paling optimal pada kereta ukur PT INKA 2015.



**Gambar 4.1** Data pengambilan data pada CFD

#### **4.1 Kenyamanan Termal Kereta Ukur 2015 Kondisi Aktual**

Hasil pengukuran termal ruang Kereta Ukur yang meliputi besaran fisis temperatur (suhu), kecepatan udara, dan kelembaban relatif (RH) ditunjukkan pada tabel 3.1. dilakukan analisis kenyamanan dengan menggunakan bagan psikometri pada gambar 4.1, didapatkan kenyamanan termal yang dimana ruangan pada kereta dalam kondisi tidak nyaman jika dibandingkan dengan standar yaitu pada suhu  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara relatif  $55\% \pm 10\%$ .

Pada semua titik pengambilan data dalam masing-masing ruangan kereta ukur 2015, hanya titik 4 dan 3 yaitu pada *control room* yang menunjukkan kondisi nyaman pada suhu  $24^{\circ}\text{C}$ . Pada *driver room* menunjukkan kondisi tidak nyaman dengan suhu  $30^{\circ}\text{C}$  dan pada *meeting room* juga menunjukkan kondisi tidak nyaman dengan suhu  $19^{\circ}\text{C}$  pada lampiran D.

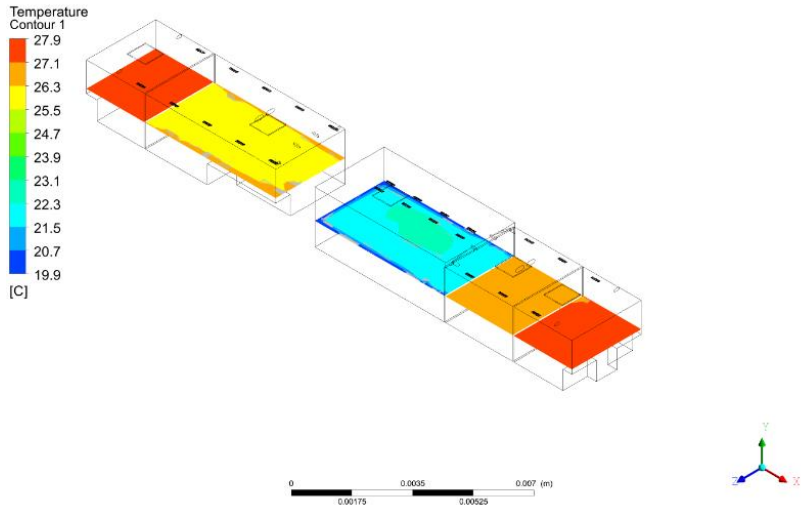
#### **4.2 Analisis pada Gerbong Kereta Kondisi Aktual dengan CFD**

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, maka telah didapatkan hasil yang menunjukan bahwa kondisi pada gerbong kereta dapat dianalisis melalui dua parameter yaitu Temperatur dan kecepatan udara. Pengambilan data dilakukan pada jarak 750 mm menunjukkan area duduk penumpang dan 1300 mm yang menunjukkan area 100 mm diatas kepala penumpang.

##### **4.2.1 Profil Temperatur**

Profil temperatur pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.2 Temperatur pada jarak 750 mm diatas lantai memiliki hasil rata-rata sebesar  $28^{\circ}\text{C}$ , dengan nilai Temperatur pada *driver room* 1 adalah  $28^{\circ}\text{C}$ , *control room*  $27^{\circ}\text{C}$ , *meeting room*  $20^{\circ}\text{C}$ , *inspeksi room*  $27-28^{\circ}\text{C}$  dan pada

*driver room 2* sebesar 29°C. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa persebaran temperatur yang ada di dalam kereta tidak merata pada tiap ruangan.

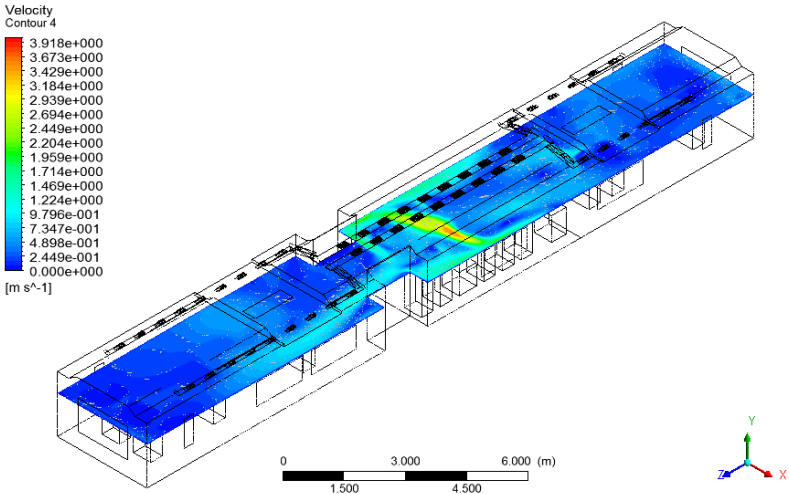


**Gambar 4.2** Distribusi temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh *ducting* pada *plane* 0,75 m di atas lantai

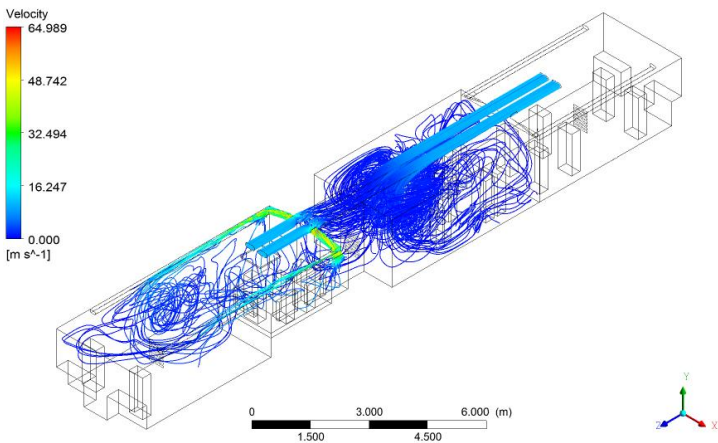
#### 4.2.2 Profil Kecepatan

Profil kecepatan pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.3. Didapatkan hasil bahwa kecepatan udara pada *meeting room* pada ketinggian 1300 mm dengan rata-rata 1,8 m/s dengan kecepatan maksimum sebesar 3,91 m/s. Pada *driver room 1* dan 2, kecepatan udaranya hampir mencapai 0 m/s.

Sedangkan pada gambar 4.4 menunjukkan *streamline* pada gerbong kereta ukur. Dari gambar tersebut, dapat terlihat bahwa udara dari *ducting* AC akan keluar menuju ruang penumpang dan akan kembali menuju *return air*. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui pula bahwa kecepatan udara pada badan kereta kecepatan 1,8 m/s.



**Gambar 4. 3** Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh *ducting* pada *plane* 1300mm di atas lantai



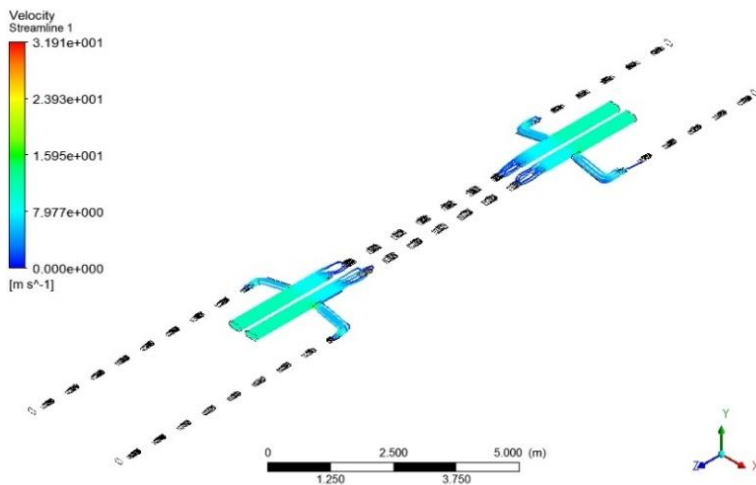
**Gambar 4. 4** Aliran udara dalam kereta ukur kondisi aktual



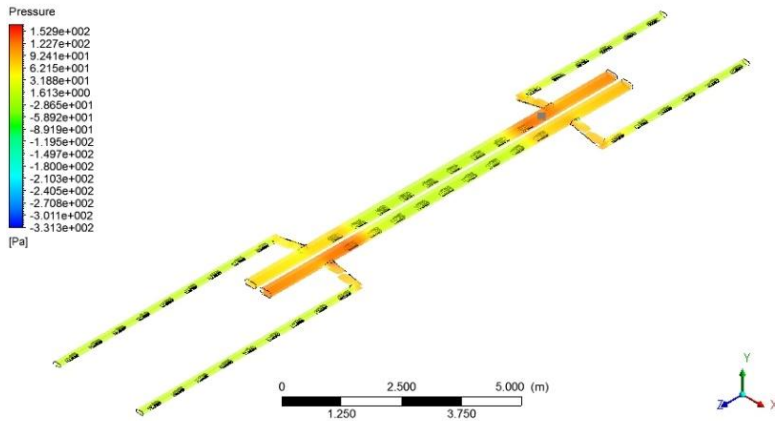
### 4.3 Analisis pada *Ducting* Kereta Kondisi Aktual dengan CFD

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, maka telah didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa kondisi *ducting* udara dapat dianalisis melalui dua parameter yaitu *pressure* dan kecepatan udara.

Profil kecepatan pada *ducting* aktual pada gambar 4.5 menunjukkan profil yang tidak merata dengan *air flow* tidak menjangkau ujung dari *ducting* dengan kecepatan keluaran dari inlet sebesar 11,423 m/s. Bagian tengah pada *ducting* utama menunjukkan tidak adanya aliran udara dan kecepatan sama sekali pada tengahnya. Ini diakibatkan karena adanya kehilangan banyak *pressure* dari inlet menuju tiap *outlet* pertama pada *ducting* utama dan *ducting* setelah *elbow* ditunjukkan pada gambar 4.6 yaitu dari 153 Pa menjadi 1,6 Pa.

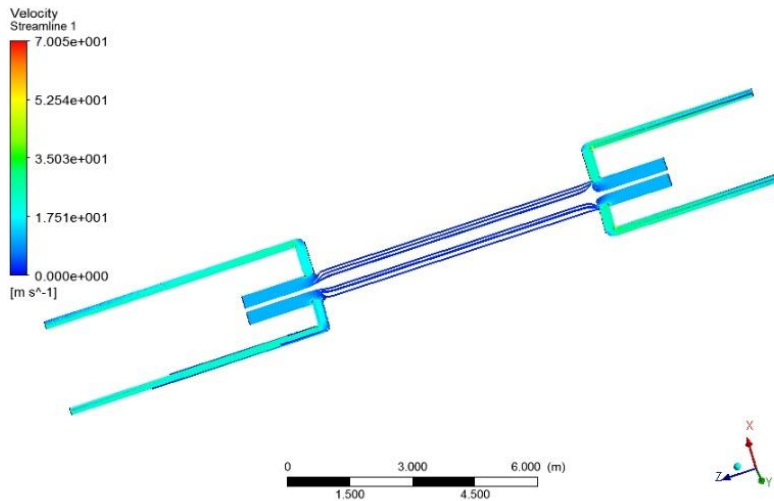


**Gambar 4. 5** Distribusi kecepatan pada *ducting* Aktual Kereta Ukur

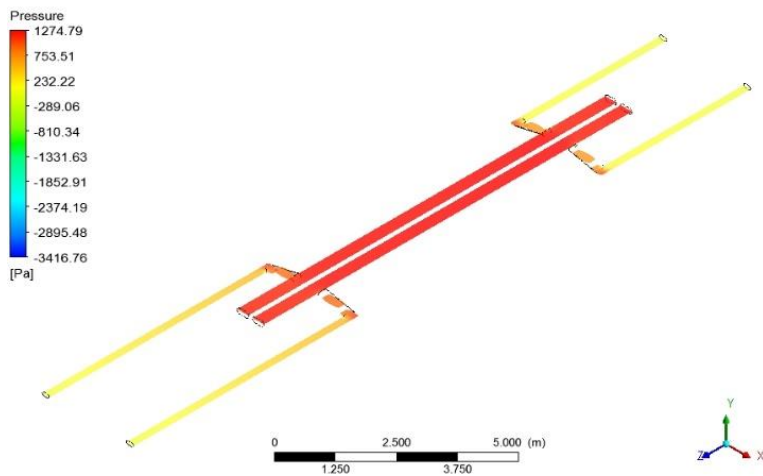


**Gambar 4. 6** Distribusi tekanan pada *ducting* aktual

Untuk mempermudah analisis, dilakukan simulasi dengan berbagai kondisi. Kondisi yang dipilih adalah saat aliran pada pipa apabila tidak adanya *outlet* pada *ducting*. Pada hasil simulasi ini, aliran udara dapat menjangkau bagian ujung *ducting* ditunjukkan pada gambar 4.7 dengan nilai kecepatan sebesar 11,423 m/s, dan tidak mengalami kehilangan *pressure* pada *ducting* ditunjukkan pada gambar 4.8.

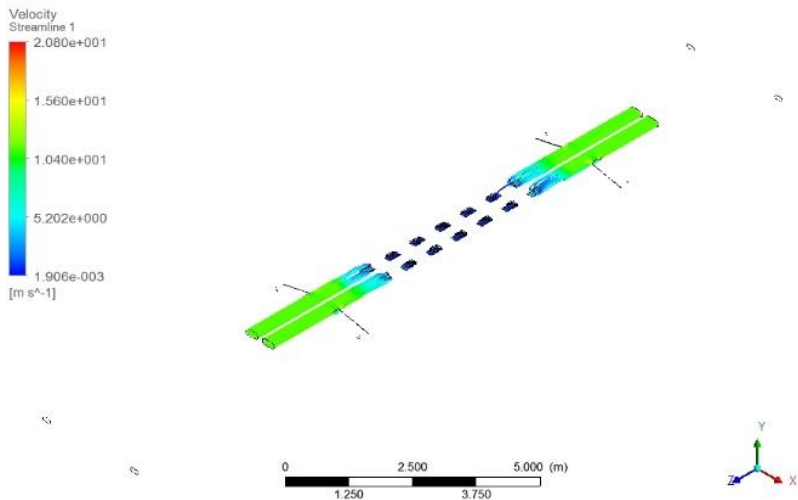


**Gambar 4.7** Distribusi kecepatan pada ducting tanpa lubang

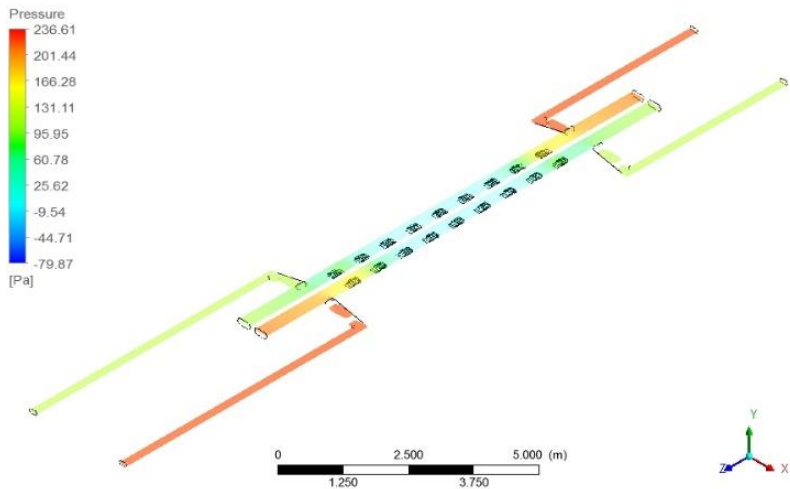


**Gambar 4.8** Distribusi tekanan pada ducting tanpa *outlet*

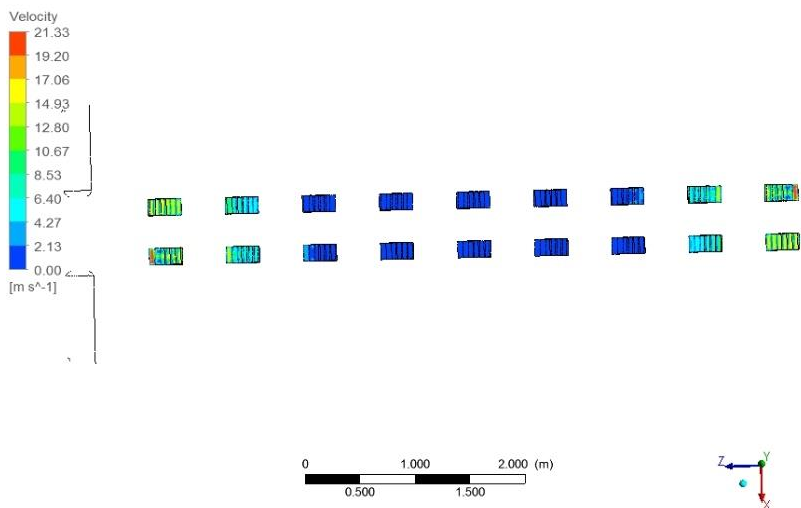
Pada saat *outlet* hanya pada bagian tengah *ducting*, aliran tidak tersebar pada *ducting* utama dan hanya memasuki *outlet* pertama. Pada *outlet* pertama kecepatan fluida sebesar 11,2 m/s pada *outlet* kedua sebesar 2,08 m/s sedangkan pada *outlet* selanjutnya hampir mendekati 0 m/s ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.11. Pada profil *pressure* gambar 4.10 pada *outlet* satu menuju *outlet* kedua mengalami degradasi tekanan dari 150 Pa menjadi 10 Pa. Dari *outlet* kedua menuju tengah sama sekali tidak mengalami degradasi warna atau tidak mengalami perubahan tekanan, menunjukkan bahwa aliran tidak mengalir.



**Gambar 4.9** Distribusi kecepatan pada *ducting* dengan *outlet* di *ducting* tengah

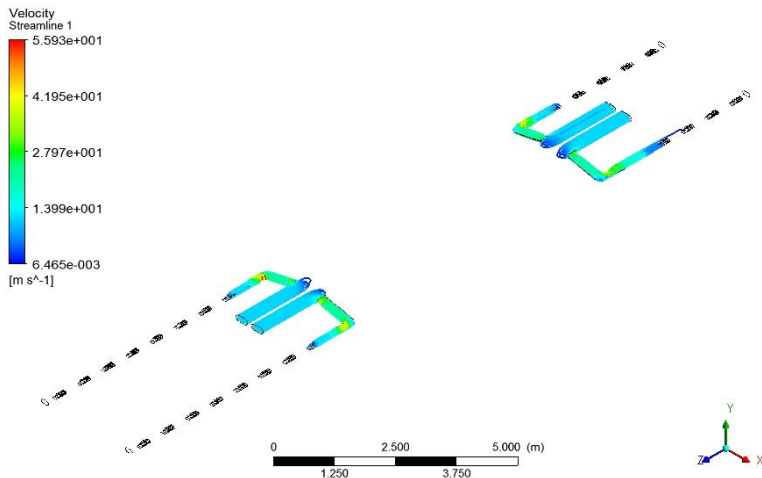


**Gambar 4.10** Distribusi tekanan pada ducting dengan *outlet* tengah

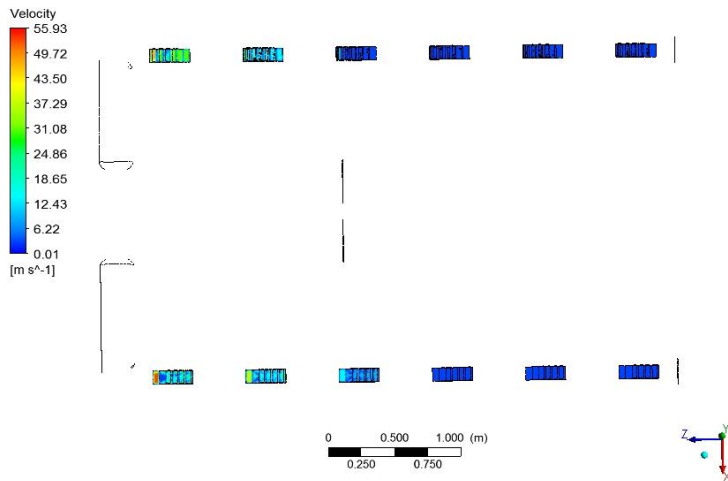


**Gambar 4.11** Kecepatan pada *outlet* ducting

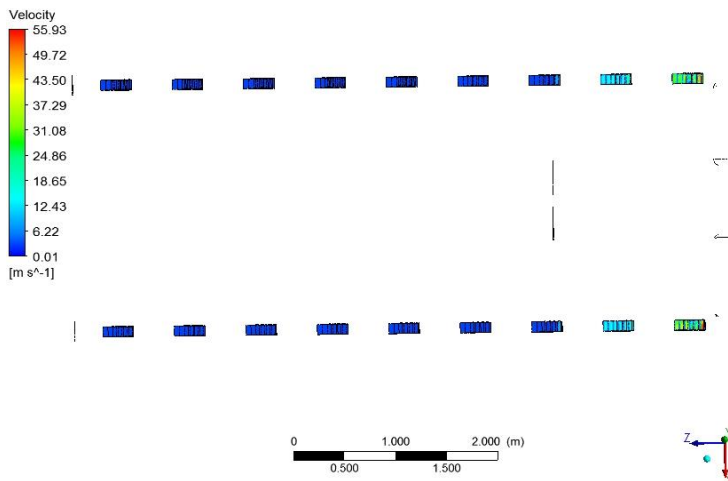
Pada saat *outlet* hanya pada bagian *ducting* pinggir, aliran tidak tersebar sampai ujung *ducting* dan hanya memasuki keluaran pertama. Pada *outlet* pertama kecepatan fluida sebesar 13,5 m/s sedangkan pada *outlet* hampir mendekati 0 m/s ditunjukkan pada gambar 4.12, 4.13 dan 4.14. Pada profil *pressure* gambar 4.15 pada *outlet* satu menuju *outlet* kedua mengalami degradasi tekanan dari 500 Pa menjadi 15 Pa. Dari *outlet* kedua menuju tengah sama sekali tidak mengalami degradasi warna atau tidak mengalami perubahan tekanan sehingga aliran tidak mengalir.



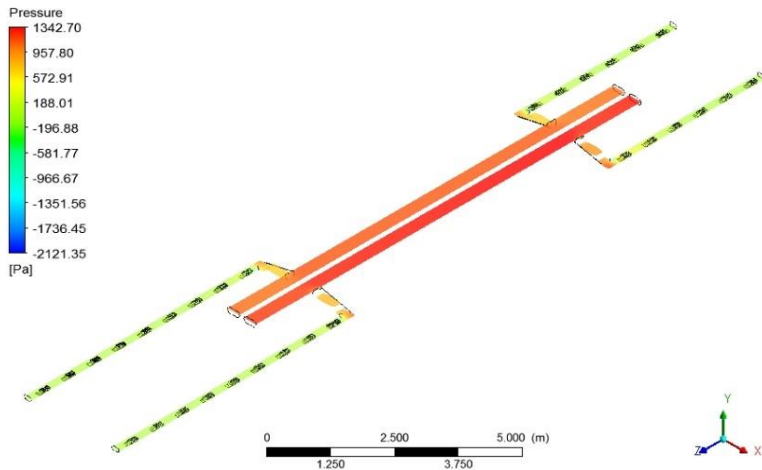
**Gambar 4.12** Distribusi kecepatan pada *ducting* tanpa lubang



**Gambar 4.13** Kecepatan pada *outlet ducting* kanan



**Gambar 4.14** Kecepatan pada *outlet ducting* kiri



**Gambar 4.15** Distribusi *pressure* pada *ducting* dengan *outlet* pinggir

Dari hasil simulasi *ducting* kondisi aktual, dari gambar 4.6 sampai dengan gambar 4.15, dilihat dari profil kecepatan udara dan *pressure* yang terjadi banyak kehilangan *pressure* pada *outlet* pertama sehingga perlu dilakukan perbaikan dan modifikasi untuk memperbaiki keadaan tersebut dengan mengubah luasan dan jumlah *outlet* selain itu juga diperlukannya perancangan *ducting*.

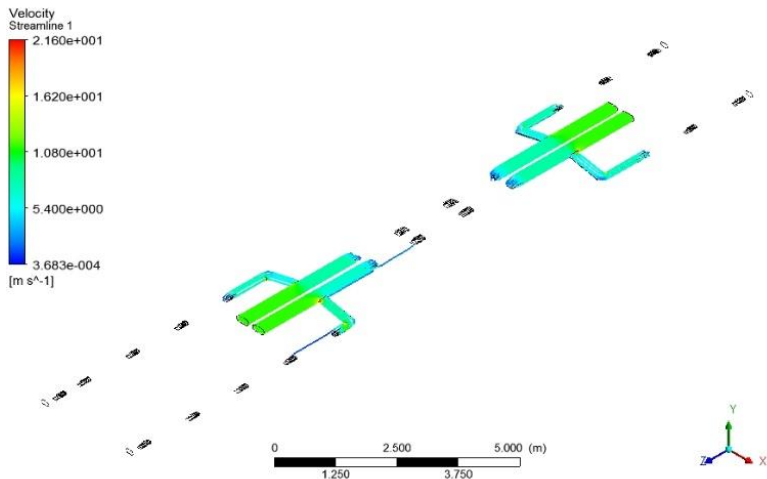
#### 4.4 Analisis CFD Kereta Ukur Variasi 1

##### 4.4.1 Analisis *ducting* Variasi 1

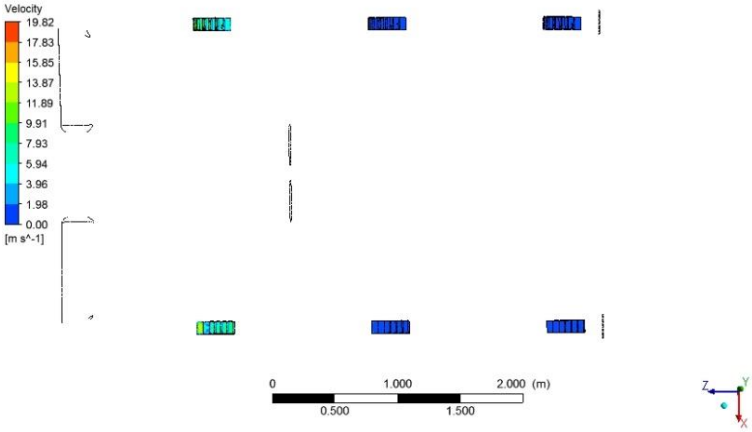
Variasi 1 dilakukan dengan mengurangi jumlah *outlet* pada *ducting* dari 44 *outlet* tiap *duct* menjadi 22 *outlet* dengan jarak masing-masing *outlet ducting* sebesar 1100 mm. Aliran udara pada *ducting* variasi 1 tidak tersebar sampai ujung *ducting* dan hanya memasuki *outlet* pertama pada *ducting* utama dan dekat *elbow*. Pada *outlet* pertama kecepatan fluida sebesar 8,4



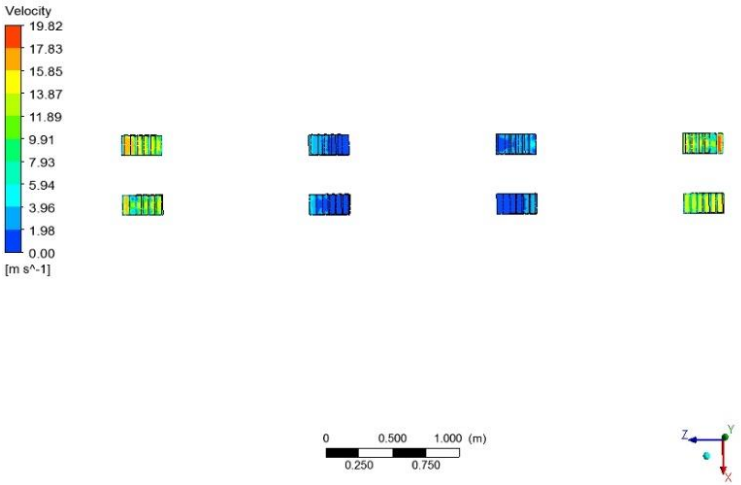
m/s sedangkan pada *outlet* setelahnya hampir mendekati 0 m/s. Pada profil *pressure* pada *outlet* satu menuju *outlet* kedua mengalami degradasi *pressure* dari 90 Pa menjadi 11 Pa. Dari *outlet* kedua menuju tengah sama sekali tidak mengalami degradasi warna atau tidak mengalami perubahan *pressure* sehingga aliran tidak mengalir. Setelah dilakukan optimasi *ducting* dengan variasi 1 tidak terjadi perubahan yang berarti dibandingkan dengan kondisi *ducting* aktual.



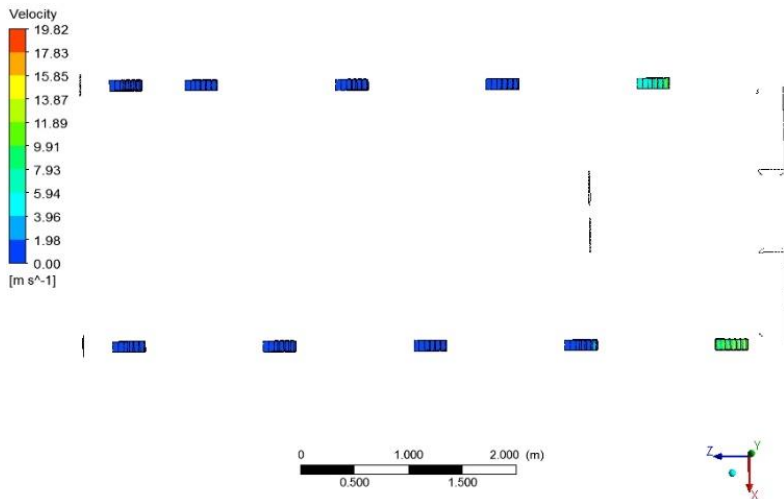
**Gambar 4.16** Distribusi kecepatan pada *ducting* dengan jarak 1100mm



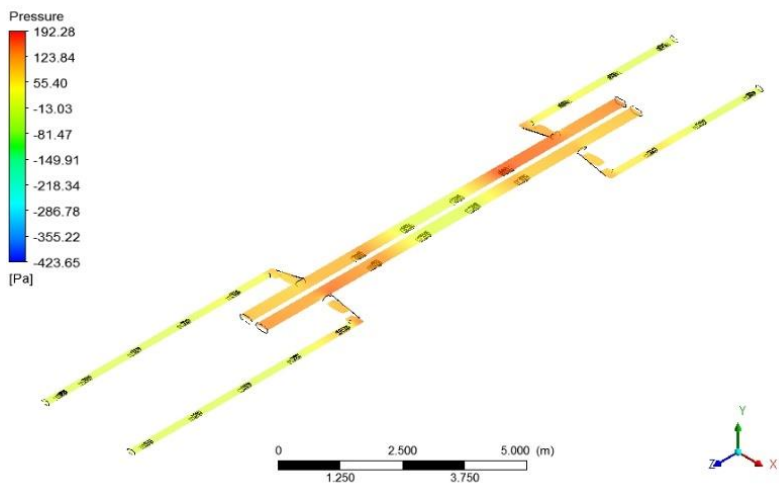
Gambar 4.17 Kecepatan pada *outlet ducting* kanan



Gambar 4.18 Kecepatan pada *outlet ducting* tengah



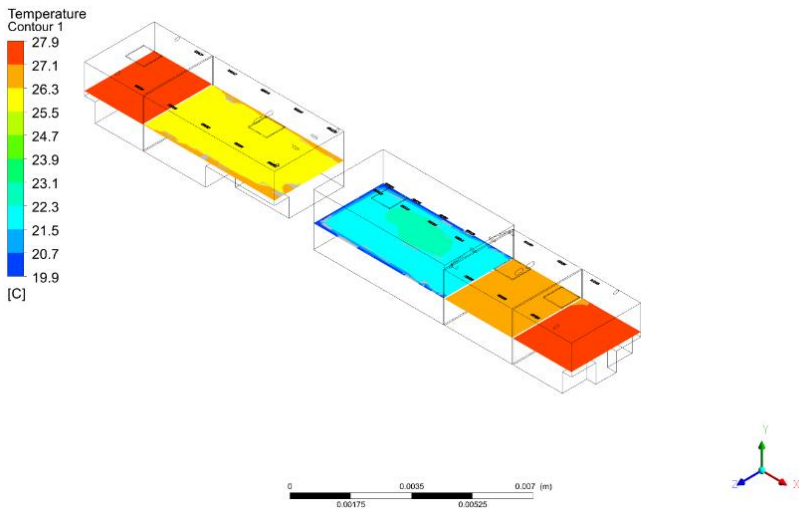
**Gambar 4.19** Kecepatan pada *outlet ducting* kiri



**Gambar 4.20** Distribusi *pressure* pada *ducting* dengan jarak 1100mm

#### 4.4.2 Analisis pada Gerbong Variasi 1

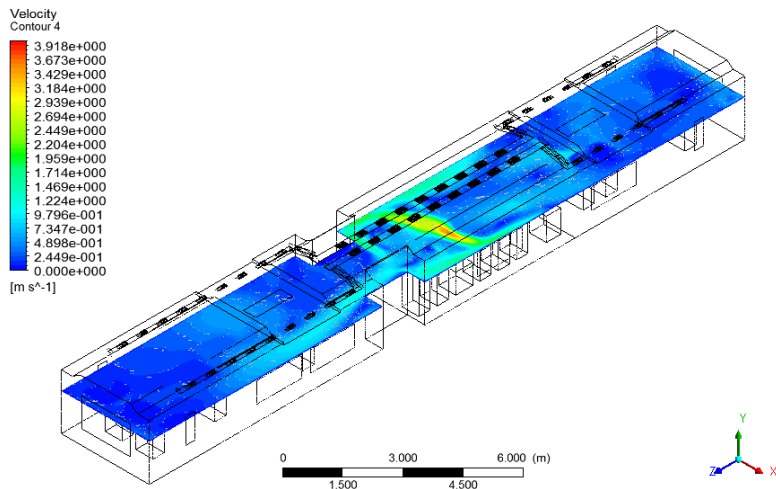
Profil temperatur pada gerbong kereta ditunjukkan pada Gambar 4.21 temperatur pada jarak 750 mm diatas lantai memiliki hasil rata-rata sebesar 26°C, dengan nilai temperatur pada driver room 1 adalah 28°C, control room 26°C, meeting room 21°C, inspeksi room 24°C dan pada driver room 2 sebesar 29°C. Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa persebaran Temperatur yang ada di dalam kereta tidak merata pada tiap ruangan.



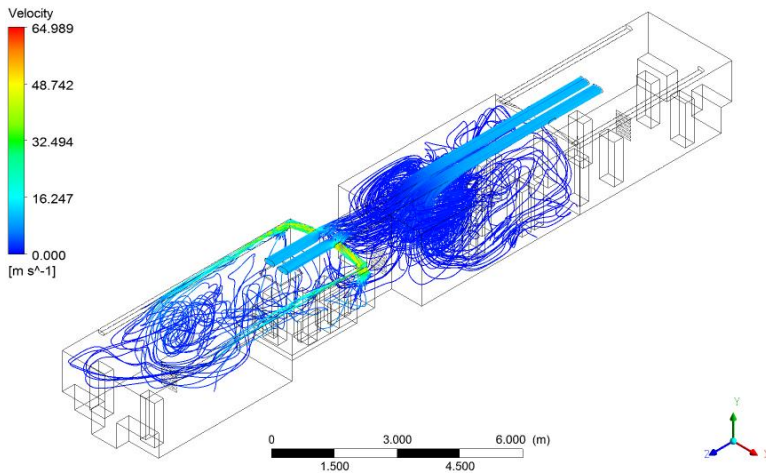
**Gambar 4. 21** Distribusi Temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh *ducting* pada *plane* 750 mm di atas lantai

Profil kecepatan pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.22 didapatkan hasil bahwa kecepatan udara pada meeting room pada ketinggian 750 mm dengan rata-rata 1,6 m/s dengan kecepatan maksimum sebesar 3,4 m/s. Pada driver room 1 dan 2, kecepatan udaranya hampir mencapai 0 m/s. Hasil variasi 1 tidak banyak mempengaruhi dari kondisi aktual sehingga perlu perbaikan kembali dengan memperkecil luasan *outlet ducting*.

Sedangkan pada gambar 4.23 merupakan *streamline* pada gerbong kereta ukur. Dari gambar tersebut, dapat terlihat bahwa udara dari *ducting* AC akan keluar menuju ruang penumpang dan akan kembali menuju *return air*. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui pula bahwa kecepatan udara mulai menurun perlahan ketika masuk ke dalam saluran udara hingga sampai ke badan kereta.



**Gambar 4. 22** Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh *ducting* pada *plane* 1,3m di atas lantai



**Gambar 4. 23** *Streamline* dalam kereta ukur variasi 1

#### 4.4.3 Kenyamanan Termal Kereta Ukur 2015 Variasi 1

Analisis kenyamanan termal dengan menggunakan bagan psikometri pada lampiran E, didapatkan kenyamanan termal yang dimana ruangan pada kereta dalam kondisi tidak nyaman. Pada *driver room* menunjukkan kondisi tidak nyaman dengan suhu  $28^{\circ}\text{C}$  dan pada *meeting room* juga menunjukkan kondisi tidak nyaman dengan suhu  $20^{\circ}\text{C}$  namun pada *inspection room* menunjukkan kondisi nyaman dengan suhu  $24^{\circ}\text{C}$ .

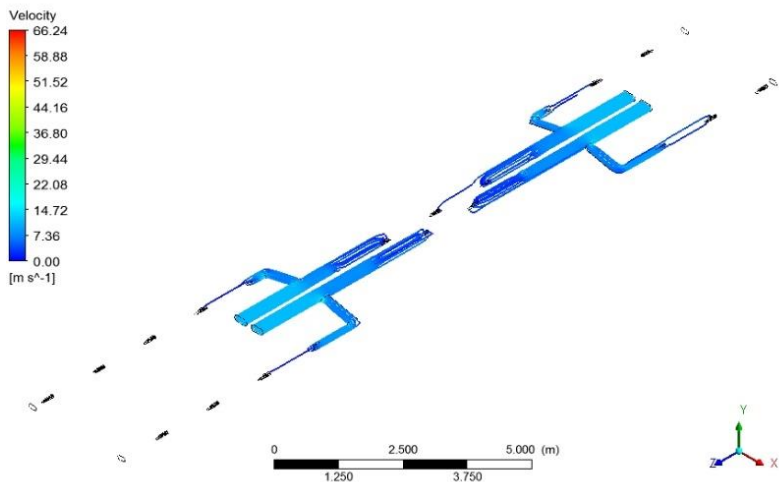
### 4.5 Analisis CFD Kereta Ukur Variasi 2

#### 4.5.1 Analisis *ducting* Variasi 2

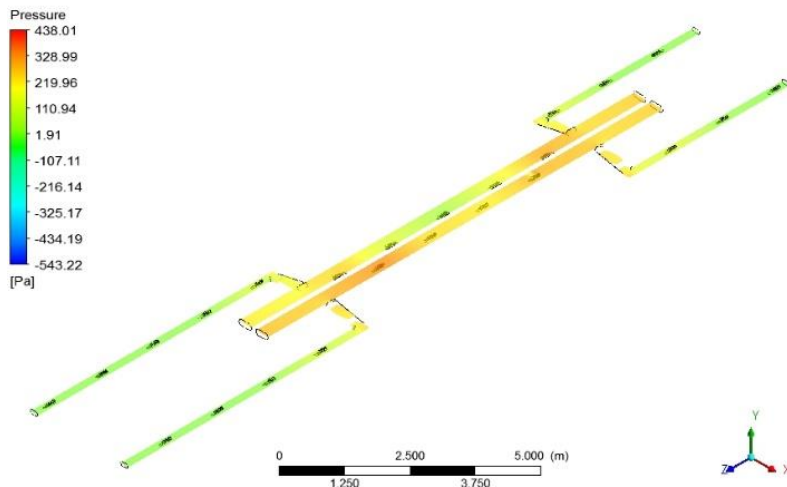
Variasi 2 dilakukan dengan mengurangi jumlah *outlet* pada *ducting* dari 22 *outlet* tiap *duct* menjadi 12 *outlet* dengan jarak masing-masing *outlet ducting* sebesar 1100 mm dan memperkecil luasan *outlet* menjadi 50x300 mm. Variasi 2 dilakukan dikarenakan pada variasi 1 menunjukkan aliran telah habis saat

meninggalkan *outlet* pertama dan tidak ada udara tersisa yang bisa mengalir ke *ducting*.

*Streamline* pada *ducting* variasi 2 tidak tersebar sampai ujung *ducting* dan hanya memasuki keluaran pertama pada *ducting* utama dan dekat *elbow*. Pada *outlet* pertama kecepatan fluida sebesar 8,4 m/s sedangkan pada *outlet* setelahnya hampir mendekati 0 m/s. Pada profil *pressure* pada *outlet* satu menuju *outlet* kedua mengalami degradasi tekanan dari 110 Pa menjadi 21 Pa. Dari *outlet* kedua menuju tengah sama sekali tidak mengalami degradasi warna atau tidak mengalami perubahan tekanan sehingga aliran tidak mengalir.



**Gambar 4. 24** Distribusi kecepatan pada variasi 2

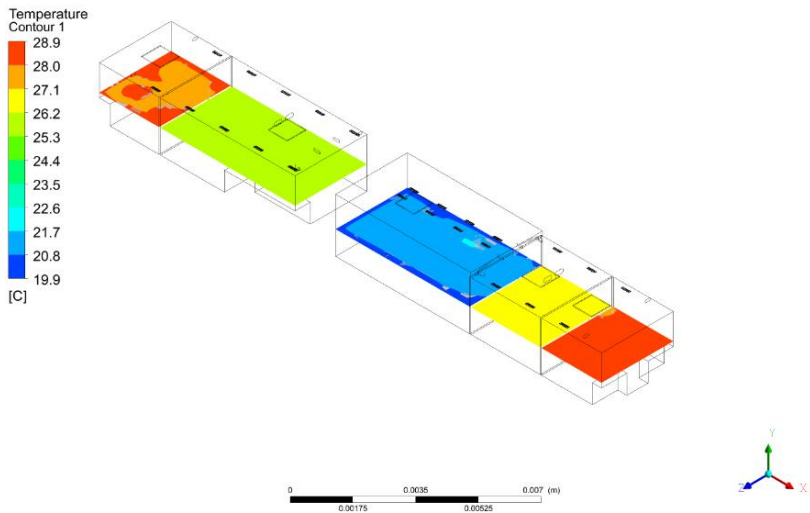


**Gambar 4. 25** Distribusi *pressure* pada variasi 2

#### 4.5.2 Analisis gerbong Variasi 2

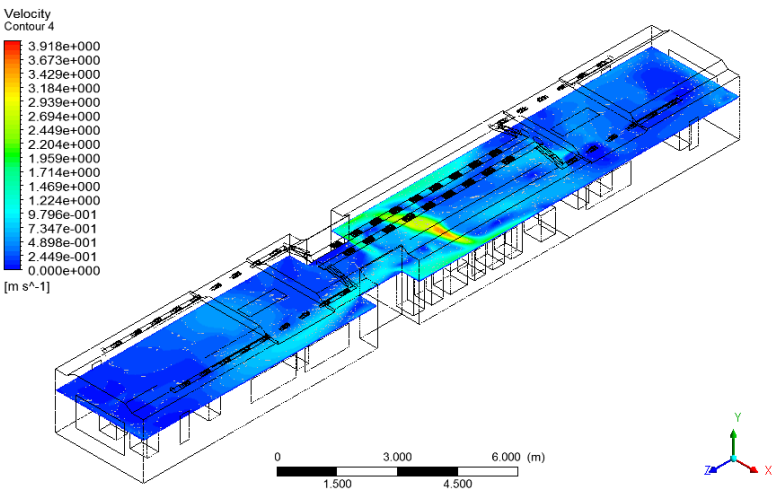
Profil temperatur pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.26 menunjukkan bahwa temperatur pada jarak 750 mm diatas lantai memiliki hasil rata-rata sebesar 24°C, dengan nilai Temperatur pada driver room 1 adalah 28°C, control room 26°C, meeting room 20°C, inspeksi room 27°C dan pada driver room 2 sebesar 29°C. Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa persebaran temperatur yang ada di dalam kereta tidak merata pada tiap ruangan.



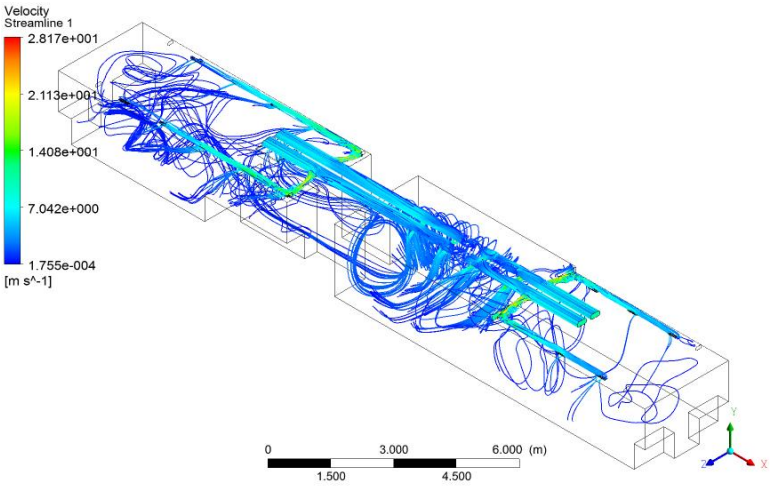


**Gambar 4. 26** Distribusi Temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh variasi 2 pada *plane* 0,75 m di atas lantai

Profil kecepatan pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.28. Didapatkan hasil bahwa kecepatan udara pada *meeting room* pada ketinggian 1300 mm dengan rata-rata 1,4 m/s dengan kecepatan maksimum sebesar 3 m/s. Pada *driver room* 1 dan 2, kecepatan udaranya hampir mencapai 0 m/s. Hasil variasi 1 tidak banyak mempengaruhi dari kondisi aktual sehingga perlu dilakukan perbaikan kembali dengan memperkecil luasan *outlet ducting*. Sedangkan pada gambar 4.28 merupakan *steamline* pada gerbong kereta ukur. Dari gambar tersebut, dapat terlihat bahwa udara dari *ducting* AC akan keluar menuju ruang penumpang dan akan kembali menuju *return air*. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui pula bahwa kecepatan udara mulai menurun perlahan ketika masuk ke dalam saluran udara hingga sampai ke badan kereta.



**Gambar 4. 27** Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh *ducting* pada plane 0,75m di atas lantai.



**Gambar 4. 28** *Streamline* dalam kereta ukur

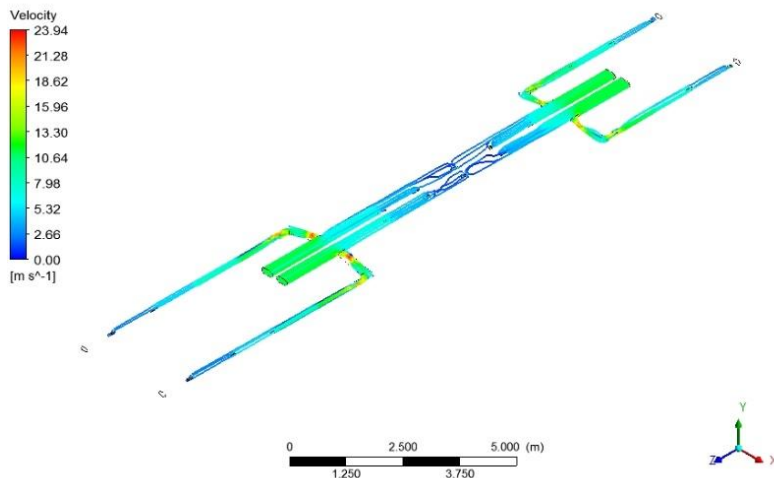
### 4.5.3 Kenyamanan Termal Kereta Ukur 2015 Variasi 2

Analisis kenyamanan dengan menggunakan bagan psikometri pada lampiran F, didapatkan kenyamanan termal yang dimana ruangan pada kereta dalam kondisi tidak nyaman. Pada *driver room* menunjukkan kondisi tidak nyaman dengan suhu  $29^{\circ}\text{C}$  dan pada *meeting room* juga menunjukkan kondisi tidak nyaman dengan suhu  $21^{\circ}\text{C}$ .

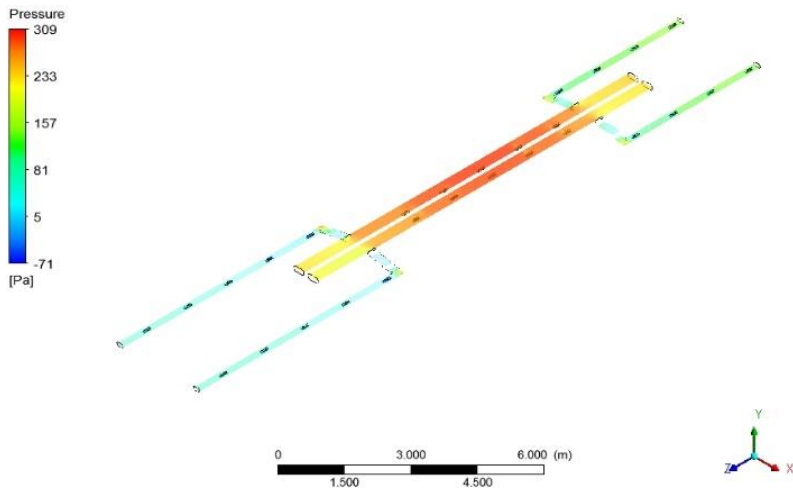
## 4.6 Analisis CFD Kereta Ukur Variasi 3

### 4.6.1 Analisis *ducting* Variasi 3

Simulasi variasi 3 dengan 12 *outlet* dengan jarak masing-masing *outlet ducting* sebesar 1100 mm dengan luasan *outlet*  $200 \times 50$  mm. Aliran udara pada *ducting* variasi 3 tersebar menuju ujung *ducting*. Pada *outlet* pertama kecepatan fluida sebesar 5,1 m/s sedangkan pada *outlet* setelahnya hampir mendekati 3 m/s. Pada profil *pressure* pada *outlet* satu menuju *outlet* kedua mengalami degradasi tekanan dari 285 Pa menjadi 250 Pa.



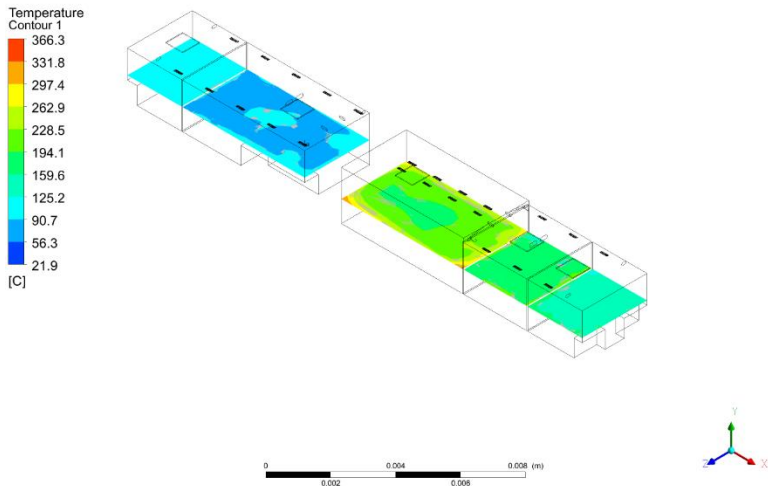
**Gambar 4. 29** Distribusi kecepatan pada variasi 3



**Gambar 4. 30** Distribusi *pressure* pada variasi 3

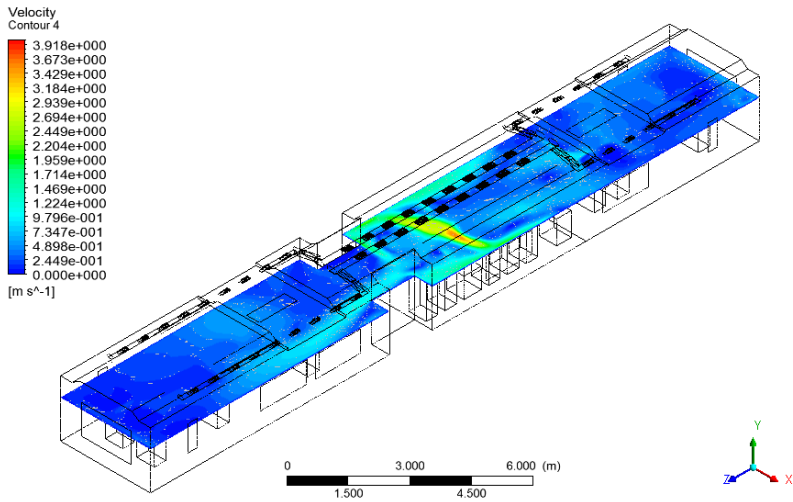
#### 4.6.2 Analisis gerbong Variasi 3

Profil temperatur pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.31 menunjukkan bahwa temperatur pada jarak 750 mm diatas lantai memiliki hasil rata-rata sebesar  $23,8^{\circ}\text{C}$ , dengan nilai Temperatur pada driver room 1 adalah  $25^{\circ}\text{C}$ , control room  $24^{\circ}\text{C}$ , meeting room  $22^{\circ}\text{C}$ , inspeksi room  $24^{\circ}\text{C}$  dan pada driver room 2 sebesar  $24^{\circ}\text{C}$ . Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa persebaran temperatur yang ada di dalam kereta tidak merata pada tiap ruangan. Sedangkan pada jarak 1300 mm atau 100 mm di atas kepala penumpang, hasil rata-rata temperaturnya juga  $23^{\circ}\text{C}$ . Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa persebaran Temperatur yang ada di dalam ruangan telah merata.

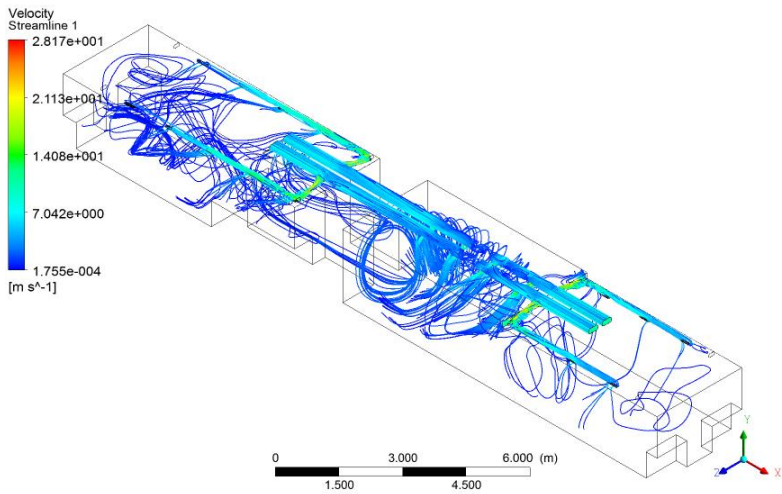


**Gambar 4. 31** Distribusi temperatur di dalam ruang kereta ukur oleh variasi 2 pada *plane* 0,75 m di atas lantai

Profil kecepatan pada gerbong kereta ditunjukkan pada gambar 4.33. Didapatkan hasil bahwa kecepatan udara pada *meeting room* pada ketinggian 1300 mm dengan rata-rata 0,4 m/s dengan kecepatan maksimum sebesar 0,7 m/s. Pada *driver room* 1 dan 2, kecepatan udaranya hampir mencapai 0 m/s. Sedangkan pada gambar 4.33 merupakan *steamline* pada gerbong kereta ukur. Dari gambar tersebut, dapat terlihat bahwa udara dari *ducting* AC akan keluar menuju ruang penumpang dan akan kembali menuju *return air*. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui pula bahwa kecepatan udara pada gerbong kereta telah sesuai standar Peraturan Menteri perhubungan no 175 tahun 2015 .



**Gambar 4. 32** Distribusi kecepatan udara di dalam ruang kereta ukur oleh *ducting* pada plane 0,75m di atas lantai.



**Gambar 4. 33** *Streamline* dalam kereta ukur

#### **4.6.3 Kenyamanan Termal Kereta Ukur 2015 Variasi 3**

Analisis nyaman dengan menggunakan bagan psikometri pada lampiran G, didapatkan kenyamanan termal yang dimana ruangan pada kereta dalam kondisi tidak nyaman. Pada *driver room* menunjukkan kondisi nyaman dengan suhu 25°C dan pada *meeting room* juga menunjukkan kondisi nyaman dengan suhu 22°C.

*“Halaman ini memang dikosongkan”*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

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

1. Distribusi temperatur gerbong pada kondisi aktual, temperatur pada jarak 750 mm diatas lantai memiliki hasil rata-rata sebesar 26,2°C dengan kecepatan maksimal pada jarak 1300 mm diatas lantai sebesar 3 m/s. Pada pengambilan data yang sama, variasi 1 memiliki hasil rata-rata sebesar 25,6°C dengan kecepatan maksimal 2,1 m/s, pada variasi 2 sebesar 26,2°C dengan kecepatan maksimal 1,7 m/s, dan pada variasi 3 sebesar 23,8°C dengan kecepatan 0,4 m/s.
2. Simulasi variasi 3 dengan 12 *outlet* dengan jarak masing-masing *outlet ducting* sebesar 1300 mm dengan luasan *outlet* 200 x 50 mm memiliki distribusi temperatur dan kecepatan yang telah sesuai Peraturan Menteri perhubungan no 175 tahun 2015. Kecepatan udara menyebar dengan rata pada setiap ruang kereta, dan aliran udara pada ducting dapat terdistribusi dengan merata.

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

14750-1:2006, T. E. (2006). Railway applications Air conditioning for urban and suburban rolling stock — Part 1: Comfort parameters.

Badan Perencana dan Pembangunan Kota. (t.thn.). Laporan Akhir- Penyusunan Kajian Penerapan Penilaian Bangunan Hijau di Kota Surabaya. Surabaya.

Bart Beusen, B. D. (2013). Energy savings in light rail through the optimization of heating and ventilation. Transportation Research Part D, 50-54.

Cheng, D. (1994). Laminar Flow Elbow System and Method.

Christian Luger, J. K. (2015). Identification of representative operating conditions of HVAC systems in passenger rail vehicles based on sampling virtual train trips. Advanced Engineering Informatics.

Halawa, Edward; Hoof, Joost van; Sobarto, Veronica. (2014). The Impact of The Thermal Radiation Field on Thermal Comfort, Energy Consumption and Control - A Critical Overview. 37, 907-918.

Haller, G. (2006, September ). Thermal Comfort in Rail Vehicles. Climatic Wind Tunnel Vienna Professional article .

Haller, G. a. (t.thn.). Climatic wind tunnel test for higher energy efficiency. 38-40.

Holman, J.P. (1991). Perpindahan Kalor. Jakarta: Erlangga.

- J.P. Powell, A. G.-G. (2014). Experimental assessment of the energy consumption of urban rail vehicles during stabling hours: Influence of ambient temperature. *Applied Thermal Engineering*, 541-547.
- Kementrian Perhubungan Republik Indonesia. (2009). PP No 72 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api . Jakarta: Kementrian Perhubungan.
- Kementrian Perhubungan Republik Indonesia. (2011). PP No. 15 Tahun 2011 Tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Kereta yang Ditarik Lokomotif. Jakarta: Kementrian Perhubungan.
- Liu, Weiwei; Qihong, Deng; Huang, Wenjie; Liu, Rui. (2011, Desember). Variation in Cooling Load of a Moving Air-Conditioned Train Compartment under The Effects of Ambient Conditions and Body Thermal Storage. *Applied Thermal Engineering*, 31, 1150-1162.
- Liu, Yanfeng; Wang, Lijuan; Liu, Jiaping; Di, Yujui. (2013, Juni). A Study of Human Skin and Surface Temperature in Stable and Unstable Thermal Environments. *Journal of Thermal Biology*, 38, 440-480.
- Musat, Radu; Helerea, Elena. (2009, Juni 30). Parameter and Model of The Vehicle Thermal Comfort. 1, 215-226.
- NASA . (2008, July 17). Computational Fluid Dynamics (CFD) Verification and Validation Web Site of the NPARC Alliance. Dipetik Mei 08, 2017, dari <https://www.grc.nasa.gov>

- Nuraeni, Tanty; Krishna Putra, Ary Bachtiar. (2010). Perhitungan Ulang Sistem Pengkondisian Udara Pada Gerbong Kereta Api Penumpang Eksekutif Malam (KA. Gajayana). Jurnal POMITS.
- Paryudi, Imam; Fenz, Stefan; Tjoa, A Min. (2013). Study on Indonesian Overall Thermal Transfer Value (OTTV) Standard. IASKS, 6, No 2, 49-54.
- PT INKA. (t.thn.). MAINTENANCE MANUAL OF AIR CONDITIONING UNIT, MODEL:RPU-6035V.
- PT. Kereta Api Indonesia (Persero). (2014). Kereta Ukur. Dipetik Februari 15, 2017, dari [www.keretaapi.co.id](http://www.keretaapi.co.id): [www.keretaapi.co.id](http://www.keretaapi.co.id)
- PT.Industri Kereta Api (INKA). (1999). Panduan Manual Book dan Maintenance Kereta Satwa (K1). Madiun, Jawa Timur, Indonesia: PT. INKA.
- R. N. Hofstädter, & M. Kozek. (t.thn.). Extension of A Thermal Simulation Model for A tram And Simulation With On-Site Measurement Data.
- SNI. (2011). Konservasi Energi Sistem Tata Usaha Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2000). Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta: SNI.
- Standar Nasional Indonesia. (2001). Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standar Nasional.

- Tuakia, Firman;. (2008). Dasar- Dasar CFD Dengan Menggunakan Fluent. Bandung: Informatika.
- Tzanakis, A. (2014). Duct Optimization Using CFD Software 'ANSYS Fluent Adjoint Solver'. Sweden.
- Ulfa, Lustyyah. (2012). Analisis Temperatur dan Aliran Udara pada Sistem Tata Udara di Gerbong Kereta Api Penumpang Kelas Ekonomi dengan Variasi Bukaannya Jendela. Jurnal Teknik POMITS, 1, 1-6.



## LAMPIRAN A : SPESIFIKASI KERETA UKUR 2015

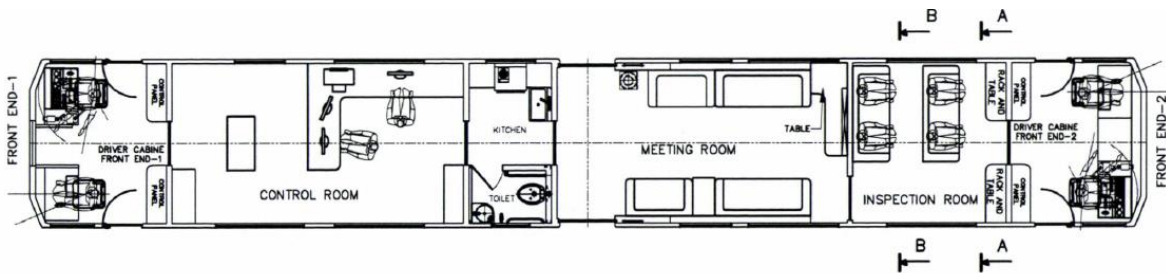
**Tabel A.1.** Data Teknis Kereta Ukur 2015

No	Parameter	Keterangan
1	Tahun pembuatan	2015
2	Kecepatan maksimum	100 m/s
3	Panjang kereta	22000 mm
4	Lebar kereta	3250 mm
5	Tinggi kereta	4000 mm
6	Berat kosong maksimum	320 kg





**Gambar A.1.** Tampak Depan Kereta Ukur PT INKA 2015



**Gambar A.2.** Tampak Ruang Ukur PT INKA 2015 dari Atas

**Tabel A.2.** Material Kereta Ukur dengan Perhitungan Nilai U

<b>Parts</b>	<b>Material</b>	<b>t (m)</b>	<b><math>\lambda(\text{W/m}^{\circ}\text{C})</math></b>	<b>Rc</b>	<b><math>\Sigma\text{Rc}</math></b>	<b>Ri</b>	<b>Ro</b>	<b>Rtn</b>	<b>U(W/m<sup>2</sup>°C)</b>
<b>Roof</b>	SPAC	0.002	55.000	0.000	1.066	0.108	0.029	1.202	<b>0.832</b>
	Air	0.001	0.024	0.042					
	Glasswool	0.040	0.040	1.000					
	GFRP	0.003	0.122	0.025					
<b>Side wall</b>	SPAC	0.002	166.000	0.000	0.123	0.108	0.029	0.259	<b>3.860</b>
	Air	0.001	0.024	0.042					
	Glasswool	0.040	166.000	0.000					
	GFRP	0.003	0.037	0.081					
<b>End wall</b>	SPAC	0.002	166.000	0.000	0.123	0.108	0.029	0.259	<b>3.860</b>
	Air	0.001	0.024	0.042					
	Glasswool	0.040	166.000	0.000					
	GFRP	0.003	0.037	0.081					
<b>Maskara</b>	GFRP	0.005	0.570	0.009	2.931	0.108	0.029	3.067	<b>0.326</b>
	SPAC	0.012	166.000	0.000					
	Air	0.070	0.024	2.917					
	GFRP	0.003	0.570	0.005					
<b>Floor</b>	SPAC	0.012	25.000	0.000	0.068	0.108	0.029	0.205	<b>4.888</b>
	Unitex	0.012	0.200	0.060					
	Vynil	0.002	0.250	0.008					

<b>Window</b>	Glass	0.008	0.960	0.008	0.008	0.108	0.029	0.144	<b>6.924</b>
<b>Side door</b>									
<b>Window</b>	Glass	0.005	0.960	0.005	0.005	0.108	0.029	0.141	<b>7.077</b>

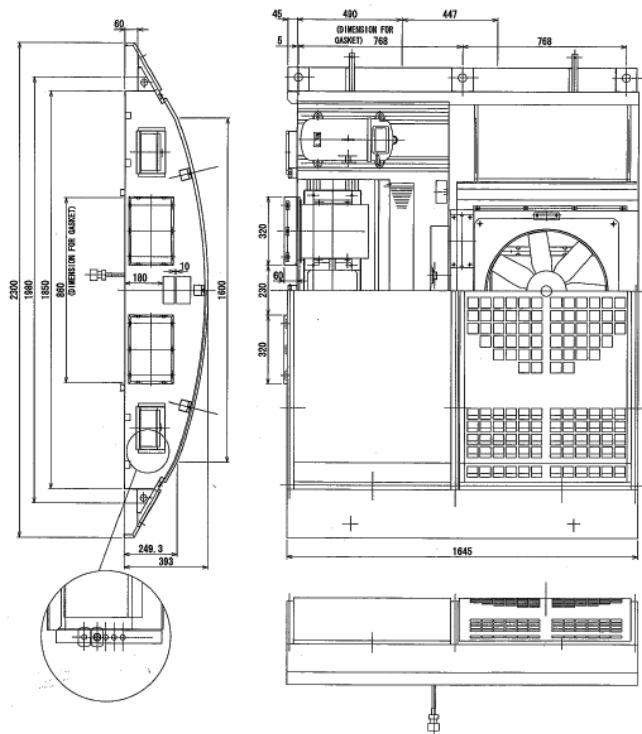
**LAMPIRAN B**  
**SPESIFIKASI PENDINGIN RUANGAN (AC)**  
**KERETA UKUR 2015**

Kereta Ukur 2015 menggunakan 2 jenis AC yaitu RPU-6035V Toshiba.

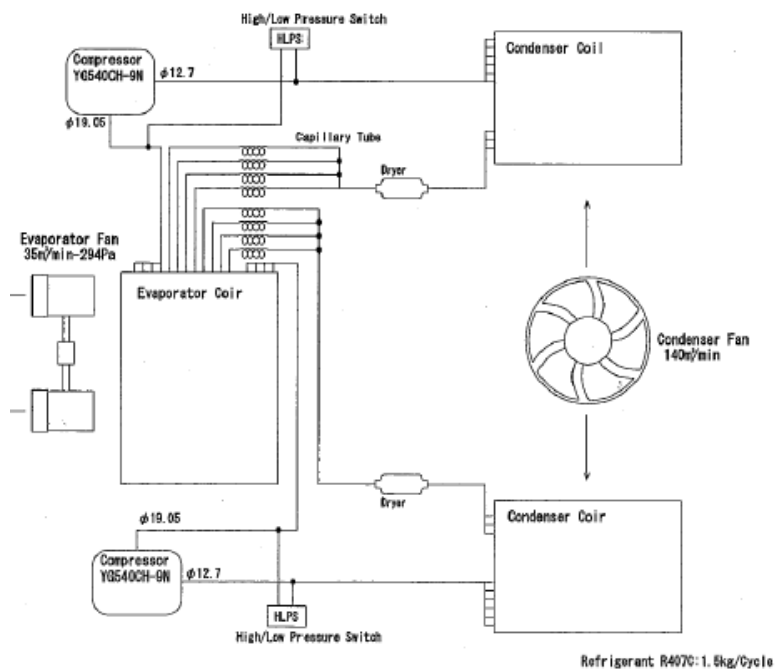
**Tabel B.1.** Spesifikasi AC Kereta Ukur 2015

Item		Performance	Description
AC Main circuits	Voltage	3 phase 380V AC	Voltage Range: 342V-418V ( $\pm 10\%$ )
	Frequency	50Hz	Frequency Range: 47.5Hz - 52.5Hz ( $\pm 5\%$ )
Control circuit	Voltage	1 phase 220V AC	Voltage Range: 198V-242V ( $\pm 10\%$ )
	Frequency	50Hz	Frequency Range: 47.5Hz-52.5Hz ( $\pm 5\%$ )
Air conditioning capacity		17.5 kW or more (15000 kcal/h)	Performance test condition Condenser coil inlet air temperature Dry bulb: 35.0° C Evaporator coil inlet air temperature Dry-bulb 26.0° C Wet-bulb 21.2° C
Air flow rate	Circulation	35 m <sup>3</sup> /min/unit	
	Return	27 m <sup>3</sup> /min/unit	
	Fresh	8.0m <sup>3</sup> /min/unit	

Total operation current		15.34A	Under the high temperature condition, Total operation current: .5A Total input power: 9.33kW
Total input power		7.84 kW	
Compressor	Type	Full hermetic horizontal scroll type	2/unit
	Output	3.0 kW	
	Current	5.5 A	
	Input	3.12 kW	
Evaporator blower unit	Type	Multi-blade fan Single axial Dual inlet	1/unit
	Air volume	35 m3/min	
	Static pressur	294Pa(30 mmAq)	
	Output	0.75 kW	
	Current	1.36 A	
	Input	0.45 kW	
	No. of poles	4P	
Condenser blower unit	Type	Axial flow fan	1/unit
	Air flow rate	140m3/min	
	Static pressur	98 Pa (10 mmAq)	
	Output	kW	
	Current	3.1A	
	Input	1.23 kW	
	No. of poles	4P	
Refrigerant	R-407C	1.5 kg/cycle	3.0 kg / unit
Unit total Mass		310kg	



**Gambar B.1.** *Main Parts Arrangement of RPU-6035V*



**Gambar B.2** Siklus *Refrigerant* pada Kereta Ukur 2015  
(Sumber : PT INKA)

**LAMPIRAN C**  
**DATA PENGUKURAN**  
**KERETA UKUR 2015**

**Tabel C.1.** Data Pengambilan Data Kereta Ukur 2015

Titik ke	1,5 m dari lantai			Keluaran diffuser
	v	t	RH	
1	0.06	30.2	55	0.56
2	0.03	29	49.4	0.46
3	0.08	24.6	48.7	0.57
4	0.1	24.2	48.5	2.25
5	0.15	24.5	47.5	2.05
6	0.11	20.2	58.1	0.32
7	0.12	20.1	57.6	0.37
8	0.16	22.3	48.8	3.8
9	0.36	22.8	43.5	7.67
10	0.37	21.8	52.5	6.25
11	0.65	20.7	56.2	2.91
12	0.4	20.3	53.7	3.8
13	0.81	19.7	54	3.06
14	0.04	19.9	55.2	0.26
15	0.08	20.1	55.7	0.37
16	0.06	20.2	57	0.63
17	0.11	20.2	58.1	0.36
18	0.2	20.3	60	0.34
19	0.11	20.4	54.7	1.39
20	0.86	20.7	58.7	2.88
21	0.48	20.9	57.7	2.94





# ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO.1

NORMAL TEMPERATURE

BAROMETRIC PRESSURE: 101,325 kPa

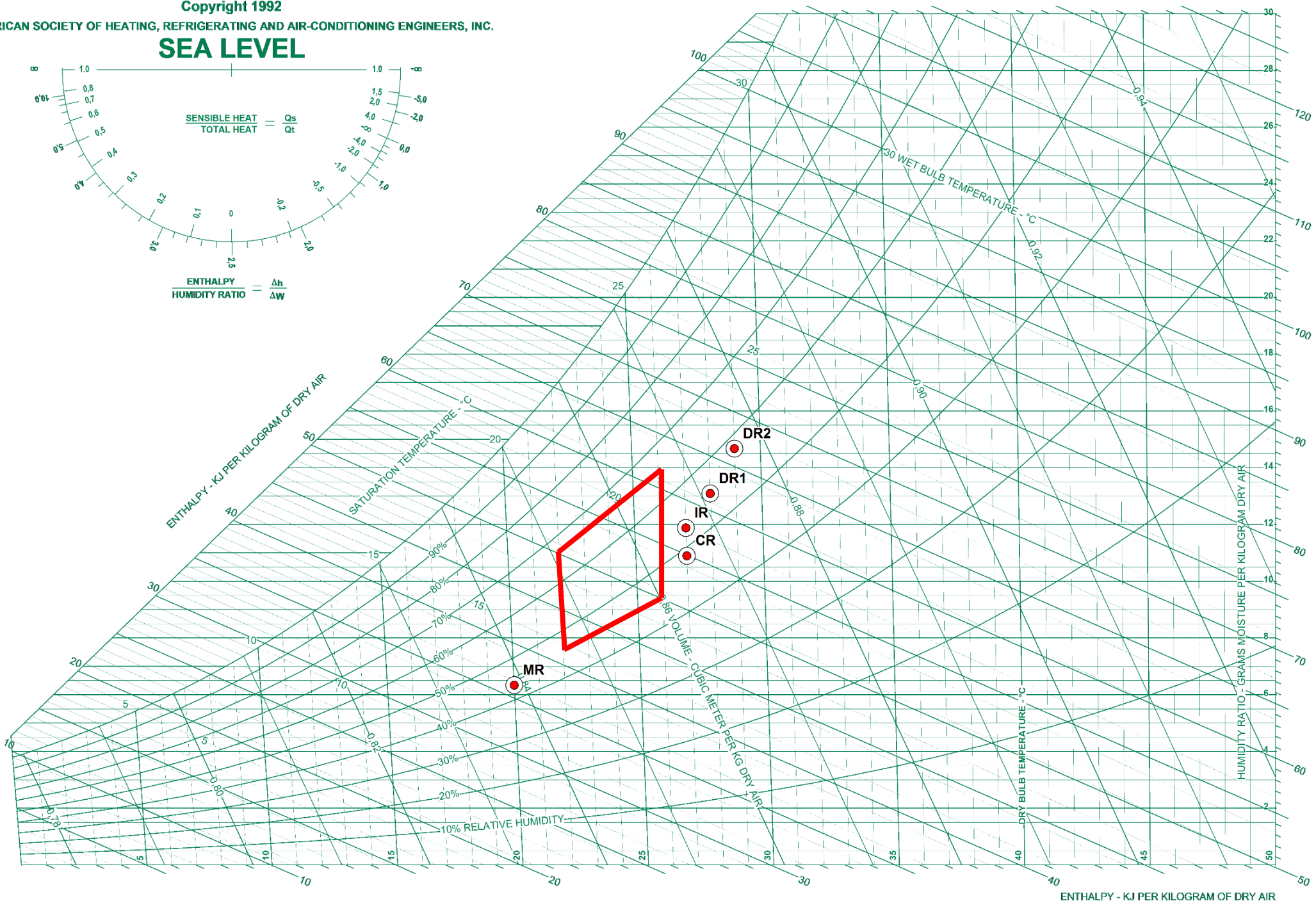
Copyright 1992

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.

SEA LEVEL



## LAMPIRAN D : PSYCHROMETRIC CHART DESAIN AKTUAL

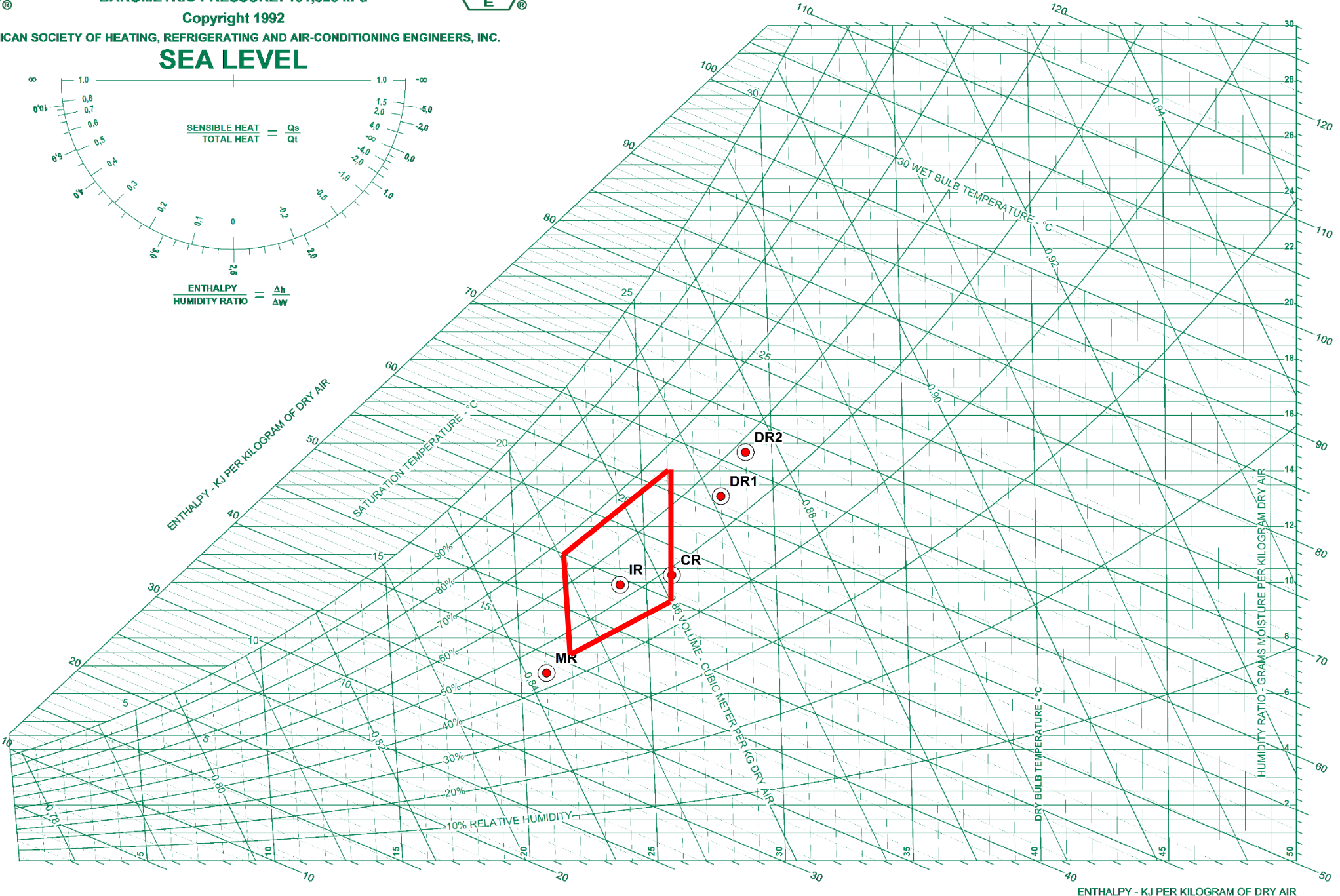




**ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO.1**  
NORMAL TEMPERATURE  
BAROMETRIC PRESSURE: 101,325 kPa  
Copyright 1992  
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.  
**SEA LEVEL**



**LAMPIRAN E : PSYCHROMETRIC CHART DESAIN VARIASI 1**



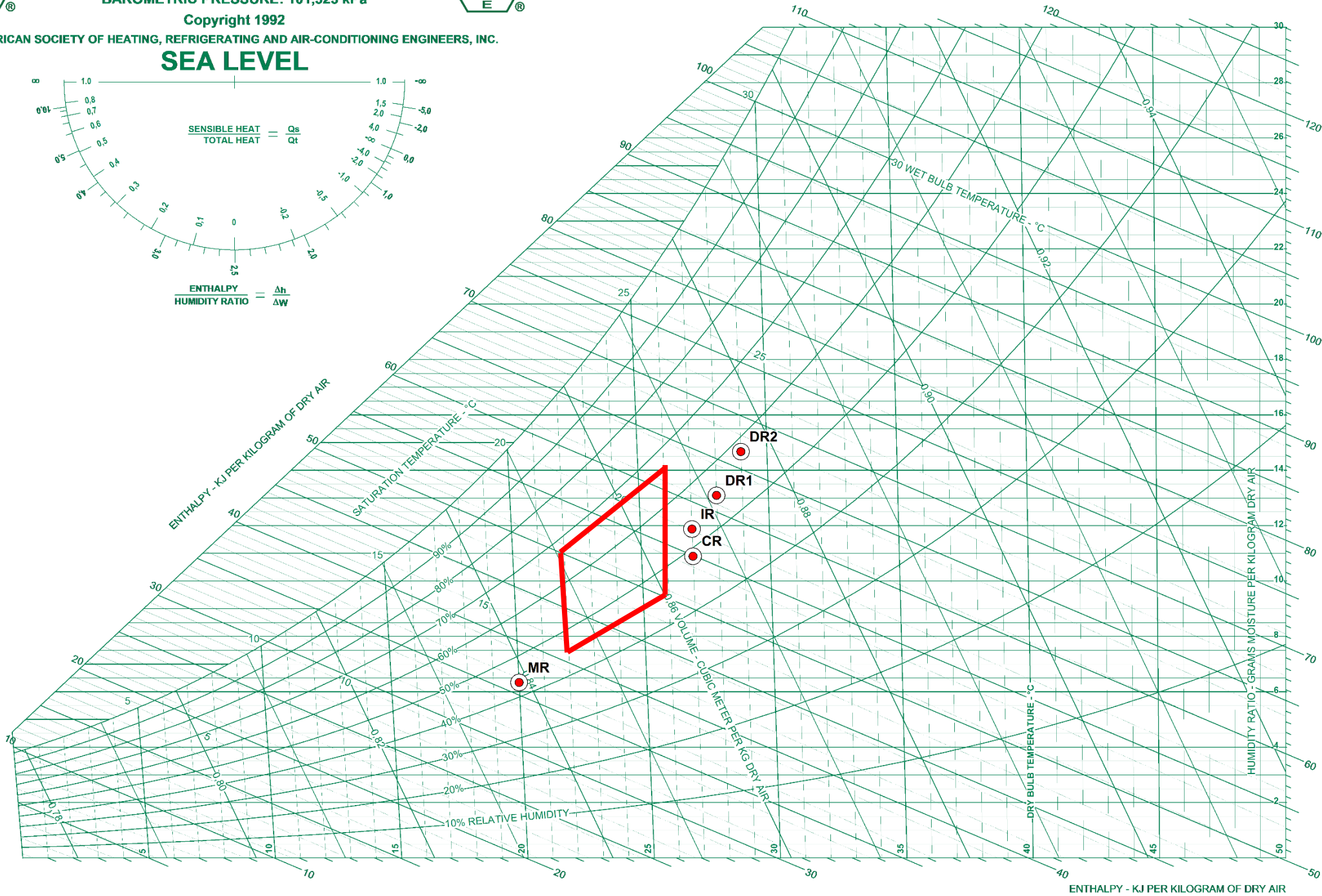




**ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO.1**  
NORMAL TEMPERATURE  
BAROMETRIC PRESSURE: 101,325 kPa  
Copyright 1992  
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.  
**SEA LEVEL**



**LAMPIRAN F : PSYCHROMETRIC CHART DESAIN VARIASI 2**





# ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO.1

NORMAL TEMPERATURE

BAROMETRIC PRESSURE: 101,325 kPa

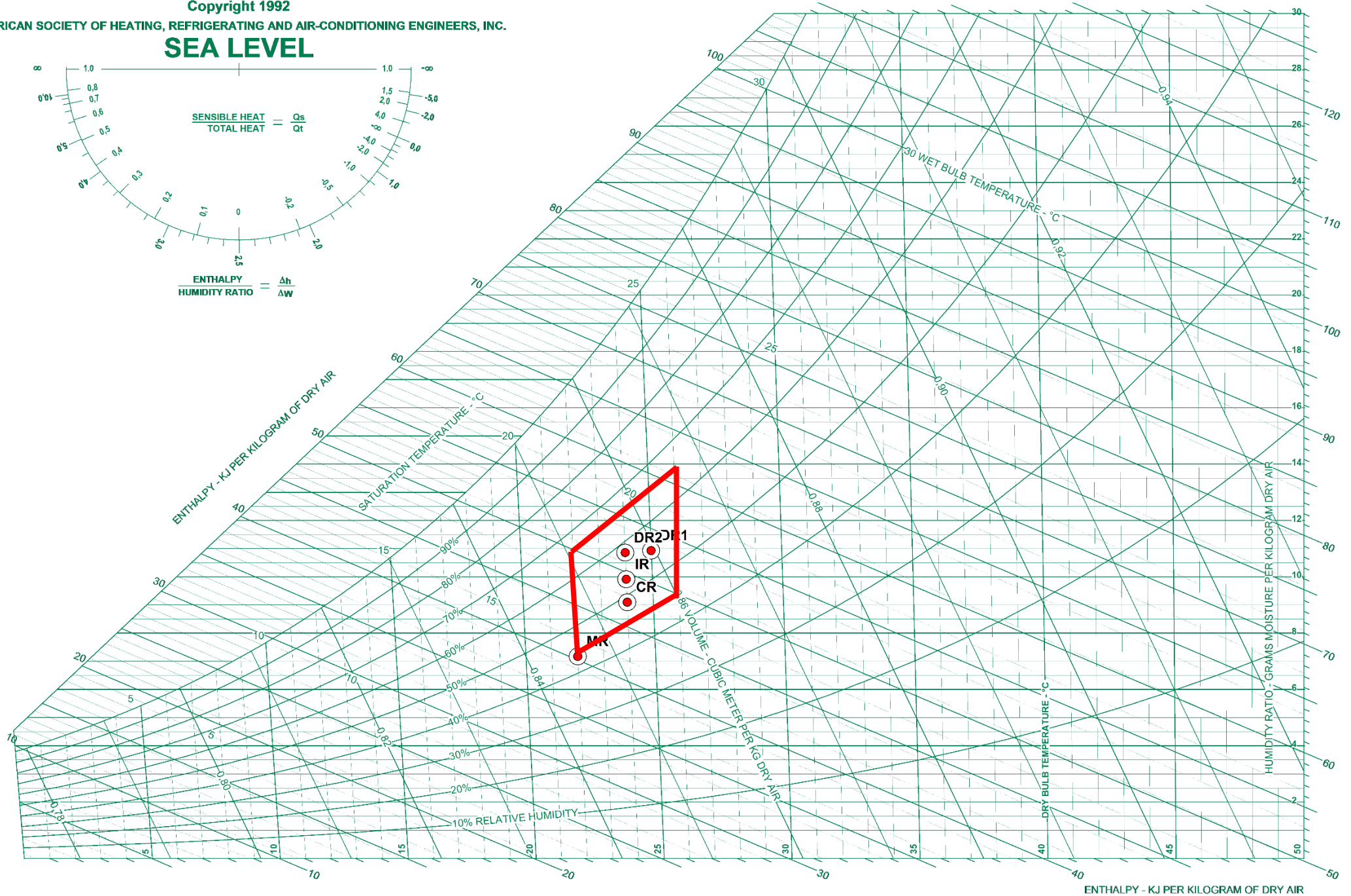
Copyright 1992

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.

SEA LEVEL



## LAMPIRAN G : PSYCHROMETRIC CHART DESAIN VARIASI 3



**LAMPIRAN H**  
**DATA PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN**  
**KERETA UKUR 2015**

COOLING & HEATING LOAD CALCULATION							
SUBJECT	:	KERETA UKUR 2015			date	:	2017-02-07
Type	:				by	:	
COOLING CALCULATION		JIS E6603:2006 ; EN 14750 ; UIC 553					
DESIGN CONDITION							
		DB (°C)	WB (°C)	RH (%)	H (Wh/kg)	Specific volume (m3/kg)	
Outside Air Temp	:	35		55	24.1	0.873	
Inside Air Temp	:	26		60	16.3		
Δ Temp	:	9					
People Loading	:	25					
Fresh Air Intake	:	375	m3h	15	cmh per person		
Q1 ; Conduction Heat Load							
Part of Carbody		Fn (m2)	Kn (W/m2)	θo (°C)	Δθo (°C)	θi (°C)	Q (W)
Floor		32.1	4.89	35.0	0.0	26.0	1413.8
Sidewall - Left		22.1	3.86	35.0	0.0	26.0	768.1
Sidewall - Right		22.1	3.86	35.0	0.0	26.0	768.1
Endwall - Front (Mascara)		5.8	0.33	35.0	0.0	26.0	17.0
Endwall - Rear		4.2	3.86	35.0	0.0	26.0	144.2
Window - Left		6.3	6.92	35.0	0.0	26.0	395.7
Window - Right		6.3	6.92	35.0	0.0	26.0	395.7
Window - Front		1.8	6.92	35.0	0.0	26.0	109.1
Window - Rear		0.0	6.92	35.0	0.0	26.0	0.0
Roof		22.5	0.83	35.0	0.0	26.0	168.3
Gangway - Left		0.0	0.00	35.0	0.0	26.0	0.0
Gangway - Right		0.0	0.00	35.0	0.0	26.0	0.0
Roof (Sunlit)		22.5	0.83	35.0	20.0	26.0	542.4
Sidewall - Left (Sunlit)		22.1	3.86	35.0	15.0	26.0	2048.3
TOTAL							6771
Q2 ; Solar Heat Load							
Glass		n	Fgn (m2)	τn	In (W/m2)	Q (W)	
Window - Left (Sunlit)		7.0	0.75	0.5	700	1839	
Window - Right (Shade)		7.0	0.75	0.5	70	184	
Window - Trpn Left (Sunlit)		1.0	0.43	1	700	299	
Window - Trpn Right (Shade)		1.0	0.43	1	70	30	
Window - Front (Sunlit)		1.0	1.75	1	700	1226	

Window - Rear (Sunlit)	0.0	0	0	0	0
Window - Sliding Door - L	2.0	0.33	0.5	700	234
Window - Sliding Door - R	2.0	0.33	0.5	70	23
TOTAL					3835

Q3 ; Human Heat Load					
	m	q (W)			Q (W)
People Loading	25	116			2900
TOTAL					2900

Q4 ; Equipment Heat Load					
Equipment	n	P (W)			Q (W)
Lighting	18	20			360
Interior Electrical Load	1	500			500
Equipment -1					0
Equipment -2					0
TOTAL					860

Q5 ; Ventilation Heat Load					
	V	io	ii		
	(m3/h)	(Wh/kg)	(Wh/kg)	v (m3/kg)	Q (W)
Ventilation	375	24.12	16.34	0.873	3345

Qo ; Total Cooling Load						
Q	Q1 (W)	Q2 (W)	Q3 (W)	Q4 (W)	Q5 (W)	Qo (W)
TOTAL	6771	3835	2900	860	3345	17711

Qo	=	15213.6	kcal/hr
----	---	---------	---------

## **BIOGRAFI PENULIS**



Intan Luruh Larasati lahir pada tanggal 05 September 1994 di Madiun. Dengan kedua orang tua Sumanan dan Umi Badi'ah. Saat ini penulis tinggal di Desa Krandegan rt 1 rw 02 Kecamatan Kebonsari Kabupaten Madiun. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di HMTF sebagai Wakil Ketua dan di BEM ITS sebagai staff Kaderisasi Kebangsaan serta Forum Perempuan ITS. Penulis mengambil bidang minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan dengan judul tugas akhir “Analisis Ducting pada Sistem

Pengkondisian Udara Kereta Ukur PT INKA 2015”. Penulis dapat dihubungi melalui email : [intanlarasati123@gmail.com](mailto:intanlarasati123@gmail.com)