



TUGAS AKHIR - TF 141581

ANALISIS TEMPERATUR DAN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA EKSEKUTIF MALAM BANGUNKARTA

**YOHANES TRI PRIANTO
NRP 2412 106 004**

**Dosen Pembimbing
Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.
Ir. Roekmono, M.T.**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT TF 141581

**ANALYSIS OF TEMPERATURE AND AIR
CONDITIONING SYSTEM AT BANGUNKARTA
EXECUTIVE NIGHT TRAIN**

**YOHANES TRI PRIANTO
NRP. 2412 106 004**

**Supervisor
Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.
Ir. Roekmono, M.T**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEMPERATUR DAN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA EKSEKUTIF MALAM BANGUNKARTA

TUGAS AKHIR

Oleh :

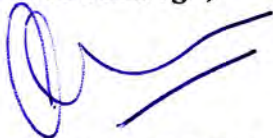
Yohanes Tri Prianto

NRP : 2412 106 004

Surabaya, 26 Januari 2015

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T

NIP. 19771127 200212 1 002

Pembimbing II,



Ir. Roekmono, M.T

NIP. 19580908 198601 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIP. 19650309 199002 1 001

**ANALISIS TEMPERATUR DAN SISTEM
PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA EKSEKUTIF
MALAM BANGUNKARTA**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

YOHANES TRI PRIANTO

NRP. 2412 106 004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Gunawan Nugroho, S.T, M.T.(Pembimbing I)
2. Ir. Roekmono, M.T.(Pembimbing II)
3. Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.(Ketua Penguji)
4. Ir. Sarwono, M.M.(Penguji)
5. Totok Ruki B, S.T, M.T, PhD.(Penguji)
6. Nur Laila Hamidah, S.T, M.Sc(Penguji)

SURABAYA JANUARI 2015

**ANALISIS TEMPERATUR DAN SISTEM
PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA EKSEKUTIF
MALAM BANGUNKARTA**

Nama Mahasiswa : Yohanes Tri Prianto
NRP : 2412 106 004
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Pembimbing : 1. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.
2. Ir. Roekmono, M.T.

Abstrak

Telah dilakukan analisis temperatur dan kelembapan udara relatif pada kereta eksekutif malam Bangunkarta. Temperatur ruang kereta selama perjalanan dari Surabaya menuju Jakarta rata-rata $19,47^{\circ}\text{C}$ dengan RH 76,07 %. Kondisi Temperatur dan RH aktual akan direayasa kenyamanan termal agar mencapai standar SNI. Melakukan Perhitungan beban pendingin, untuk mengetahui sumber-sumber beban pendingin dalam ruang kereta. Beban internal yang terdiri dari beban penumpang, peralatan elektronik dan pencahayaan menyumbang beban kalor internal sebesar 39.606,5 W. Sedangkan beban eksternal yang terdiri dari beban konduksi, beban partisi lantai, beban radiasi jendela dan ventilasi menyumbang beban kalor eksternal sebesar 201.932,12 W. Berdasarkan kondisi tersebut dilakukan juga perhitungan OTTV (Overall Thermal Transfer Value) untuk melihat besarnya OTTV pada selubung bangunan ruang kereta, dalam penelitian ini diasumsikan perhitungan OTTV dalam ruang kereta yang bergerak sama dengan perhitungan ruang bangunan permanen, hanya perhitungan dilakukan per jam waktu kereta berhenti. Selanjutnya, Simulasi CFD digunakan untuk mengetahui kontur distribusi temperatur dari ruang kereta. Penelitian ini telah melakukan 5 variasi simulasi utama yang terdiri dari model Kereta Bangunkarta dan Desain baru dengan merubah luasan jendela dan letak AC *blower*, sehingga didapat simulasi dengan kontur temperatur yang baik untuk kenyamanan termal. Simulasi KA_2 dan KA_5 memiliki distribusi temperatur yang baik karena temperatur menyebar dengan rata pada setiap bidang/ruang kereta.

Kata Kunci : AC, Beban Pendingin, CFD, dan OTTV

Halaman ini memang dikosongkan

**ANALYSIS OF TEMPERATURE AND AIR
CONDITIONING SYSTEM AT BANGUNKARTA
EXECUTIVE NIGHT TRAIN**

Name : Yohanes Tri Prianto
NRP : 2412 106 004
Program Study : S1 Engineering Physics
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor : 1. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.
2. Ir. Roekmono, M.T.

Abstract

Analysis of temperature and relative humidity was conducted on executive night train. Train's temperature as long as on trip from Surabaya to Jakarta rate is 19.47 °C and RH is 76.07%. an actual condition conducted to thermal engineering in order to achieve standard thermal comfort or SNI. Cooling load calculation to identify the source of cooling load in train. Internal load are consisting of passenger load, electronic equipment and lighting for the internal heat load is 39,606.5 W. External load are consisting of conductionloads, partitions load, windows and vents radiation burden accounted for external load of 201,932.12 W. Based on the condition conducted OTTV Value (Overall Thermal Transfer Value) to find the calculations of room the building envelope OTTV train's. The study is assumed OTTV calculation's to moving train same room with building calculation, just only the calculations performed by an hour as long as train's stop. Then, CFD simulation is used to determine the contours of temperature distribution on train. The study has made five major simulation, are consisting of a simple model Bangunkarta's train and new designs are changing the glass area on windows and best place of air conditioning, so the simulations obtained with good temperature contours for thermal comfort.. Simulation train KA_2 and KA_5 are having good temperature distribution due to temperature spread evenly on each plane / train.

Keyword : AC, CFD, Cooling Load and OTTV

Halaman ini memang dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : **“Analisis Temperatur dan Sistem Pengkondisian Udara Pada Kereta Eksekutif Malam Bangunkarta”**.

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto,DEA. Selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya.
2. Ir. Sarwono, M.M. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah memberikan ijin penggunaan fasilitas Laboratorium.
3. Dr. Gunawan Nugroho, S.T, M.T., dan Ir. Roekmono, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan materi dan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T., Nur Laila Hamidah, S.T, M.sc., dan Totok Ruki B., P.hD yang telah memberikan masukan selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Ir. Ronny Dwi Noriyati M. Kes., selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan motivasi pada awal perkuliahan.
6. Seluruh Staf pengajar dan Dosen yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama kuliah di jurusan Teknik Fisika.
7. Seluruh Karyawan TU Jurusan Teknik Fisika yang telah memberikan kemudahan kepada penulis dalam proses administrasi dan surat menyurat.
8. Bapak Achmad Romadhoni, selaku A.n Manager SDM & Umum Daop 8 Surabaya.
9. Bapak Rochman, selaku Ka. Unit Sarana (Dipo Kereta Sidotopo) Daop 8 Surabaya dan Bapak Yudi, selaku Operator Listrik dan Pembimbing Lapangan selama penulis melakukan pengambilan data tugas akhir.

10. Kepada Karyawan, Kondaktur, Masinis dan Teknisi KA Bangunkarta PT. Kereta Api (Persero) Daop 8 Surabaya, Daop 7 Madiun, Daop 4 Semarang yang telah memberikan ijin kepada penulis untuk mengambil data langsung selama perjalanan Kereta Api Bangunkarta.
11. Halomoan Daniel, Mas Hanif Akbar, Hisyam dan Achmad Sholeh Huddin yang telah memberikan bantuan kepada penulis untuk akomodasi.
12. Teman – Teman LJ Genap 2012 yaitu Galih Nugroho, Imin Syarif, Mas Akbar Prastiko, Fadel Bairuni, Akhmad Azwar Anas, Mas Gembong Hari PR, Abinowo, Mas Arief Yulianto dan Shinta Kusumawardhani yang menjadi teman seperjuangan selama kuliah di Jurusan Teknik Fisika ITS.
13. Teman – Teman Lab. Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan (Yamuna, Erna, Fitria, Abdi Ismail, Zain, Reza, Alvien Kurniawan, Nia, Rendy) terima kasih atas bantuan mengajarkan penulis tentang CFD.
14. Seluruh Teman – teman WS (Yugie Tenggara, Fany wahyu, Ventri Galuh, Mas Fandy Laksono, Mas Amrizal, Suryo utomo, Danial, Yulia, Pupung Chandra) terima kasih atas motivasi dan semangat yang telah diberikan kepada penulis.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan penulis satu persatu.

Ucapan terima kasih yang luar biasa kepada keluarga penulis yaitu Ibu, Bapak, Mas Eko dan Mbak Yuli yang memberikan semangat dan bantuan moril, materil dan doanya, selama penulis menuntut ilmu dan hingga mampu menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang baik dan dapat bermanfaat bagi kita semua. Semoga Tuhan selalu beserta kita. Amin

Surabaya, Januari 2015
Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Kenyamanan Termal	5
2.1.1 Faktor – Faktor yang mempengaruhi <i>Human Thermal Comfort</i>	5
2.2 Pengkondisian Udara di Kereta Bangunkarta	7
2.3 Perhitungan OTTV	9
2.4 Perhitungan Beban Pendingin dengan Metode CLTD ...	10
2.4.1 Perhitungan Kalor dari Kondisi Luar Ruangan.....	10
2.4.2 Perhitungan Kalor dari Kondisi Dalam Ruangan .	11
2.4.3 Udara Ventilasi dan Udara Infiltrasi	12
2.5 CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>).....	12
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Alur Penelitian	15
3.2 Objek Penelitian	17
3.3 Perhitungan OTTV	21

3.3.1 Perhitungan Nilai OTTV Kereta Bangunkarta.....	25
3.3.2 Perhitungan OTTV Desain.....	27
3.4 Perhitungan Beban Pendingin	29
3.5 Simulasi CFD	30
3.5.1 <i>Pre-Processing</i>	30
3.5.2 <i>Solver</i>	33
3.5.3 <i>Post Processing</i>	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Pengukuran Termal Kereta Bangunkarta	37
4.2 Perhitungan OTTV Kondisi Aktual.....	40
4.3 Perhitungan Ulang OTTV Desain KA. Bangunkarta	43
4.4 Perhitungan Beban Pendingin dengan Metode CLTD ...	45
4.4.1 Beban Internal	45
4.4.2 Beban Eksternal	50
4.4.3 Udara dan Infiltrasi	53
4.4.4 Total Beban Pendingin Ruang Kereta.....	55
4.5 Desain Kenyamanan Ruang Kereta	55
4.6 Hasil Simulasi CFD	57
4.6.1 Hasil Distribusi Temperatur pada Variasi Desain KA. Bangunkarta	58
4.6.2 Hasil Aliran Udara (<i>Streamline</i>) Desain KA. Bangunkarta	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	A-1
LAMPIRAN B	B-1
LAMPIRAN C	C-1
LAMPIRAN D	D-1
LAMPIRAN E	E-1
LAMPIRAN F	F-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi AC KA. Bangunkarta	8
Tabel 3.1	Data Penumpang KA. Bangunkarta -3	20
Tabel 3.2	Peralatan Elektronik yang ada di Kereta Api Bangunkarta-3	20
Tabel 3.3	Arah Mata Angin Bagian Depan Kereta	23
Tabel 3.4	Orientasi Bidang Kereta Bangunkarta Setiap Sisi Dinding	24
Tabel 3.5	Kondisi Batas Simulasi CFD (Pukul 14.00 WIB)	28
Tabel 3.6	Penentuan Parameter Simulasi Tahap <i>Solver</i>	33
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Temperatur Ruang Kereta	37
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Kelembapan Udara Relatif Ruang Kereta	38
Tabel 4.3	<i>Solar Factor</i> dari Orientasi Bangunan	41
Tabel 4.4	Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 14.00 WIB	41
Tabel 4.5	Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 15.00 WIB	41
Tabel 4.6	Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 16.00 WIB	41
Tabel 4.7	Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 17.00 WIB	42
Tabel 4.8	Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 18.00 WIB	42
Tabel 4.9	Perhitungan OTTV Aktual Total Per Jam	42
Tabel 4.10	Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 14.00 WIB	44
Tabel 4.11	Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 15.00 WIB	44
Tabel 4.12	Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 16.00 WIB	44

Tabel 4.13	Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 17.00 WIB	44
Tabel 4.14	Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 18.00 WIB	45
Tabel 4.15	Perhitungan OTTV Desain Total Per Jam	45
Tabel 4.16	Perhitungan Beban Penumpang Aktual	47
Tabel 4.17	Peralatan Elektronik yang ada di KA. Bangunkarta	48
Tabel 4.18	Total Beban Pendingin	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus <i>Refrigerant</i> pada AC Paket K1	7
Gambar 3.1	Diagram Penelitian Tugas Akhir	15
Gambar 3.2	Titik Pengukuran Suhu dan Kelembapan Udara di Kereta bangunkarta	18
Gambar 3.3	Suasana Ruang Kereta Bangunkarta	19
Gambar 3.4	Apalikasi <i>Compas Pro 360 Android</i>	22
Gambar 3.5	Desain Geometri KA. Bangunkarta dengan Simulasi CFD	32
Gambar 3.6	Desain Geometri Baru KA. Bangunkarta dengan Simulasi CFD	29
Gambar 3.7	<i>Streamline</i> Aliran di Dalam Kereta	34
Gambar 3.8	Kontur Kecepatan Udara di Dalam Kereta	34
Gambar 3.9	Kontur Temperatur di Dalam Kereta	35
Gambar 4.1	Grafik Perubahan Temperatur Ruang Kereta Rata-Rata Per Jam	39
Gambar 4.2	Grafik Perubahan Kelembapan Udara Ruang Kereta Rata – Rata Per Jam	35
Gambar 4.3	Sumber Panas Sensibel dan Laten dari Penumpang	46
Gambar 4.4	Grafik Perhitungan Beban Penumpang	48
Gambar 4.5	Grafik Beban Konduksi Melalui Jendela, Atap, dan Dinding	52
Gambar 4.6	Kontur Distribusi Temperatur KA_1 Pukul 14.00 WIB (Siang Hari)	58
Gambar 4.7	Kontur Distribusi Temperatur KA_2 Pukul 14.00 WIB (Siang Hari)	59
Gambar 4.8	Kontur Distribusi Temperatur KA_1 Pukul 14.00 WIB (Siang Hari)	60
Gambar 4.9	Kontur Distribusi Temperatur KA_1 Pukul 14.00 WIB (Siang Hari)	61

Gambar 4.10 Kontur Distribusi Temperatur KA_1 Pukul 14.00 WIB (Siang Hari)	62
Gambar 4.11 <i>Streamline</i> aliran udara KA_1	62
Gambar 4.12 <i>Streamline</i> aliran udara KA_2	63
Gambar 4.13 <i>Streamline</i> aliran udara KA_3	64
Gambar 4.14 <i>Streamline</i> aliran udara KA_4	65
Gambar 4.15 <i>Streamline</i> aliran udara KA_5	65

DAFTAR NOTASI

T	: Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) atau (K).
RH	: <i>Relative Humandity</i> / kelembapan udara relatif (%).
α	: absorbtansi radiasi matahari.
U_w	: Transmittansi termal untuk dinding kereta ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).
U_f	: Transmittansi termal fenetrasi untuk jendela ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).
WWR	: <i>Window-Wall to Rasio</i> atau perbandingan luasan jendela dengan luasan dinding luar kereta.
TD_{EK}	: Beda temperatur ekuivalen (diambil 10 K)
SC	: Koefisien peneduh dari sistem fenetrasi.
SF	: Faktor radiasi matahari (W/m^2)
ΔT	: Beda Temperatur ruang dan lingkungan ($^{\circ}\text{C}$) atau (K).
A	: Luas permukaan (m^2).
q	: Beban Pendingin (W).
Q	: Kalor perpindahan panas (Kj/min)
v	: Kecepatan udara (m/s).
AV	: <i>Volumetric flow rate</i> (m^3/min)
TdB	: Temperatur udara kering ($^{\circ}\text{C}$)
TwB	: Temperatur udara basah ($^{\circ}\text{C}$)
h	: Entalphi (Kj/Kg)
x	: <i>Rasio Humandity Kg Moisture/Kg dry air.</i>
V	: Volume spesifik (m^3/Kg).
\dot{m}	: Laju aliran massa (Kg/min)

Halaman ini memang dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Kereta api Indonesia (KAI) adalah jasa transportasi yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia dalam melakukan perjalanan dengan jarak dekat atau jauh. PT. KAI memberikan standar pelayanan minimum berupa pendingin udara pada semua kelas kereta mulai dari ekonomi, bisnis dan eksekutif. Jenis pendingin udara yang digunakan di kelas ekonomi atau bisnis adalah AC (*Air Conditioning*) Split sedangkan AC yang digunakan pada kelas eksekutif adalah AC paket dengan jumlah 2 (dua) yang terletak di ujung atas kereta (PT. Industri Kereta Api (INKA) 1999). Kereta api Bangunkarta yang melakukan perjalanan dari Surabaya – Jakarta dengan waktu tempuh lebih dari 10 jam akan mempengaruhi suhu tubuh penumpang karena terlalu lama diam atau duduk dalam waktu yang lama (Liu, Yanfeng; Wang, Lijuan; Liu, Jiaping; Di, Yujui 2013). Kenyamanan termal di dalam ruang kereta sangat dibutuhkan oleh para penumpang yang melakukan perjalanan jauh sehingga kondisi dari ruang kereta nyaman.

Faktor – faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal seseorang di dalam ruangan adalah temperatur udara kering, kelembapan udara relatif, pergerakan udara, radiasi permukaan panas, aktifitas atau metabolisme seseorang dan pakaian yang digunakan (Standar Nasional Indonesia 2001). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perubahan temperatur dan sistem pengkondisi udara pada kereta Bangunkarta dan membuat kondisi nyaman di dalam kereta agar penumpang dapat menikmati perjalanan jauh. Dalam perjalanan kereta yang melewati berbagai daerah atau kota akan mempengaruhi temperatur dan kelembapan dalam ruang kereta (Liu, Weiwei; Qihong, Deng; Huang, Wenjie; Liu, Rui 2011).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang kereta api yaitu Lustyyah ulfa membahas tentang analisis temperatur dan sistem tata udara serta variasi bukaan jendela di kereta ekonomi

Pasundan dan Tanty Nuraeni membahas tentang perhitungan ulang beban pendingin di Kereta Gajayana dengan metode TETD (*Total Equivalent Temperature Difference*). Penelitian tugas akhir ini membahas tentang kenyamanan termal ruang kereta Bangunkarta, perhitungan beban pendingin dengan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*), perhitungan nilai OTTV (*Overall Thermal Transfer value*), dan melakukan desain simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk mengetahui aliran fluida dan kontur distribusi temperatur pada ruang kereta. Dalam Simulasi CFD dibuat model geometri kereta Bangunkarta dan model geometri desain dengan luasan jendela yang dibuat lingkaran seperti jendela pesawat dan peletakkan AC *blower* yang berbeda. Dalam kondisi desain juga dilakukan perhitungan ulang beban pendingin dan nilai OTTV.

1.2. Rumusan Masalah

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

- Bagaimana temperatur dan sistem pengkondisian udara pada kereta penumpang Bangunkarta?
- Bagaimana perhitungan beban pendingin dengan metode CLTD pada kereta Bangunkarta?
- Bagaimana perhitungan OTTV pada kereta Bangunkarta?
- Bagaimana perubahan nilai OTTV ketika nilai A (Luas) dari bagian Kereta seperti jendela dinding luar dirubah?
- Bagaimana aliran udara dan kontur distribusi pada ruang kereta Bangunkarta pada simulasi CFD ?

1.3. Tujuan

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini bertujuan untuk:

- Mengetahui sistem tata udara di dalam kereta bangunkarta.
- Mengetahui sumber – sumber beban pendinginan di dalam kereta bangunkarta.
- Mengetahui nilai OTTV pada kereta Bangunkarta

- Mengetahui perbandingan aliran udara dan kontur distribusi temperatur pada ruang kereta bangunkarta dengan kondisi aktual dan desain dengan simulasi CFD.

1.4. Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- Pengambilan data aktual dilakukan pada kereta bangunkarta pada tanggal 5 Desember 2014.
- Kondisi lingkungan saat pengambilan data aktual dalam kondisi hujan dengan suhu $24^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}$ (Data BMKG Surabaya)
- Pengambilan data aktual dimulai dari Stasiun Surabaya Gubeng sampai dengan Stasiun Jatinegara.
- Pengambilan data aktual dilakukan setiap jam selama perjalanan kereta.
- Pengukuran temperatur dan kelembapan udara relatif hanya dilakukan pada ruang penumpang kereta.
- Kondisi desain ruangan berdasarkan *comfort zone* untuk standar ASHRAE.
- Melakukan simulasi CFD untuk mengetahui kontur distribusi temperatur dan aliran udara pada kereta Bangunkarta.
- Penelitian dibatasi hanya pada analisis perhitungan OTTV menurut SNI 03-6389-2000.
- Analisis perhitungan Beban Pendingin dengan metode CLTD menurut SNI 6390:2011.
- Pada perhitungan nilai OTTV dan beban pendingin, pengaruh tirai atau korden dalam kereta dianggap tidak mempengaruhi perhitungan.

1.5. Sistematika Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir disusun secara sistematis dalam lima bab utama dengan uraian penjelasan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori dan referensi yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi urutan langkah – langkah dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi analisis dari pembahasan berdasarkan data yang telah diperoleh dan diolah dalam penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang telah diperoleh dari hasil penelitian secara keseluruhan dan berisi saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan sumber – sumber referensi yang dapat menunjang dalam penelitian ini.

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal menurut definisi ASHRAE adalah kondisi pikiran manusia yang merasakan kepuasan terhadap kondisi ruangan. Faktor yang menyebabkan manusia merasa puas dan nyaman dengan kondisi ruangan adalah suhu udara ruangan, radiasi suhu yang ada di permukaan ruangan, kelembapan udara, pergerakan udara, bau, pencahayaan, akustik, dan keindahan ruangan (*Human Comfort and Health Requirement*). Manusia merasakan tidak nyaman apabila kondisi ruangan yang terlalu panas atau terlalu dingin ditambah tidak ada sirkulasi udara di ruangan sehingga ruangan menjadi pengap dan bau. Untuk itu kenyamanan termal dibutuhkan bagi manusia untuk menunjang pekerjaan yang dilakukan oleh manusia tersebut. Kenyamanan termal manusia di dalam ruangan (*indoor*) atau di luar ruangan (*outdoor*) berbeda, karena semua kondisi tersebut dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal ruangan. Standar kenyamanan termal di Indonesia terdapat pada SNI 03-6572-2001 pada bagian temperatur dan kelembapan udara. Berdasarkan artikel *Human Comfort and Health Requirements*, Tujuan dari Kenyamanan termal bagi manusia adalah sebagai berikut :

- Meningkatkan perhatian seseorang dan mengurangi *human error* (kesalahan manusia).
- Meningkatkan produktifitas atau pelayanan seseorang dalam bekerja.
- Mengurangi potensi bahaya (*hazard*) untuk kesehatan seperti penyakit pernapasan.

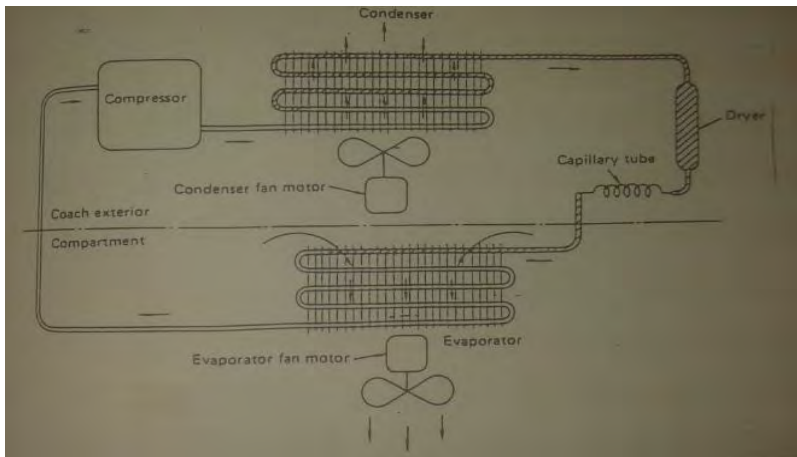
2.1.1. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi *Human Thermal Comfort*

Faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal seseorang berdasarkan SNI 03-6572-2001 adalah :

- a Temperatur udara kering dimana daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis seperti Indonesia dapat dibagi menjadi tiga daerah yaitu :
- Sejuk nyaman : Temperatur efektif $20,5^{\circ}\text{C} - 22,8^{\circ}\text{C}$
 - Nyaman Optimal : Temperatur efektif $22,8^{\circ}\text{C} - 25,8^{\circ}\text{C}$
 - Hangat nyaman : Temperatur efektif $25,8^{\circ}\text{C} - 27,1^{\circ}\text{C}$
- b Kelembapan Udara Relatif
Kelembapan udara relatif dalam sebuah ruangan adalah perbandingan antara jumlah uap air yang dikandung oleh udara tersebut dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur udara ruangan. Di Indonesia yang merupakan negara tropis mempunyai kelembapan udara relatif yang dianjurkan antara 40 % - 50 % tetapi jika jumlah orang lebih banyak yang berada pada suatu ruangan maka kelembapan udara relatif dianjurkan antara 55% - 70%.
- c Pergerakan/Kecepatan Udara
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.
- d Radiasi Permukaan yang Panas
Sebuah ruangan panas jika dinding – dinding di ruangan tersebut berdekatan dengan sumber panas sehingga dapat mempengaruhi kenyamanan termal seseorang. Jika temperatur radiasi panas rata – rata tinggi dari temperatur udara kering ruangan maka perancangan temperatur udara agar dibuat lebih rendah daripada rancangan yang biasanya.
- e Aktivitas Manusia
Aktivitas manusia erat kaitannya dengan metabolisme seseorang atau kegiatan yang dilakukan yang berada dalam sebuah ruangan.

2.2. Pengkondisian Udara di Kereta Bangunkarta

Kereta Bangunkarta memiliki sistem pengkondisian udara berupa AC paket yang letaknya ada di kedua ujung atap. Kedua unit AC akan mengeluarkan udara dingin melalui evaporator dan menuju ke *ducting* atau saluran udara yang terletak diatas bagasi penumpang kereta. Pada sistem *air conditioning* terdapat siklus *Refrigerant* dan pada Gambar 2.1. adalah siklus *Refrigerant* pada AC paket. Pada siklus ini terdapat komponen seperti kompresor, kondenser, *dryer*, *Capillary tube*, evaporator, dan *Pressure switch*.



Gambar 2.1. Siklus *Refrigerant* pada AC Paket K1

Proses siklus refrigerasi pada gambar 2.1. dimulai dari kompresi gas *refrigerant*, dimana tekanan dan temperatur naik. Pengompresan yang tinggi dan gas *refrigerant* yang panas mengalir kedalam kondenser dan didinginkan oleh kondenser. Pada proses ini terjadi perubahan fasa dari gas menjadi cair (*Pressurized Liquid*). Kemudian air dalam *liquid* dihilangkan dengan *dryer*. Ketika *liquid refrigerant* mengalir menuju *capillary tube*, tekanan menjadi turun karena pergeseran resistansi di tube dan terjadi proses ekspansi. Temperatur dan tekanan yang rendah akan dialirkan menuju 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.

Spesifikasi AC paket di kereta Bangunkarta dapat dilihat pada tabel 2.1. Kereta Penumpang K1 menggunakan 2 jenis AC yaitu ujung I adalah tipe RPU 6014 V Toshiba sedangkan pada Ujung II tipe KL 5C Konvekta. Data Spesifikasi kereta diambil dari buku manual kereta K1 yang dibuat oleh PT. INKA tahun 1999. Total 1 kereta eksekutif dipasang AC 16 PK dengan kecepatan kipas evaporator 1459 rpm.

Tabel 2.1. Spesifikasi AC KA. Bangunkarta

No	Komponen	Keterangan
1	<i>Power source</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Power Circuit</i> • <i>Control Circuit</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Phase, 380 V, 50 Hz • Single phase, 220 V 50Hz
2	<i>Circulation air delivery</i>	35 m ³ /min
3	<i>Cooling capacity</i>	15000 Kcal/h
4	<i>Air condition</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Indoor</i> • <i>Outdoor</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • DB 26⁰C, RH 65% • DB 35⁰C
5	<i>Standar input power</i>	7,5 kW
6	<i>Standard input current</i>	16 A
7	<i>Refrigerant</i>	R-22 (CHCIF)
8	<i>Refrigerant volume</i>	1,8 kg ± 50 g/cycle
9	<i>Capillary tube</i>	<i>Outer dia. 2.85 x inner dia. 1.7 x length 800 mm x 3 sets/cycle</i>
10	<i>Weight</i>	320 kg
11	<i>Dimensions</i>	<i>Length : 1660 mm</i> <i>Width : 1850 mm</i> <i>Heigth : 393 mm</i>

Tabel 2.1. Lanjutan Spesifikasi AC KA. Bangunkarta

No	Komponen	Keterangan
12	<i>High and low pressure switch</i>	<i>Automatically returned type</i>
13	<i>Automatic temperature controller</i>	<i>Fixed around return air inlet</i>
14	<i>Cable connector</i>	<i>Type JA CANNON CONNECTOR</i>

2.3. Perhitungan OTTV

OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) adalah angka yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk selubung bangunan yang dikondisikan. Selubung bangunan yang dimaksud adalah elemen bangunan yang menyelubungi bangunan, yaitu dinding luar dan atap tembus atau tidak tembus cahaya dimana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen tersebut. (Standar Nasional Indonesia 2000). Pada SNI Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung tahun 2000 ditetapkan nilai perpindahan panas untuk selubung bangunan tidak melebihi 45 Watt/m². Nilai OTTV dinding luar dengan orientasi tertentu dapat dituliskan dengan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$OTTV = \alpha \cdot [(U_w \cdot (1 - WWR)) \cdot TD_{EK} + (SC \cdot WWR \cdot SF) + (U_f \cdot WWR \cdot \Delta T)] \quad (2.1)$$

Dimana :

OTTV = nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu. (Watt/m²)

α = absorbtansi radiasi matahari.

U_w = transmitansi termal dinding tak tembus cahaya (Watt/m².K)

WWR = perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan.

TD_{EK} = beda temperatur ekuivalen (K)

SC = Koefisien peneduh dari sistem fenetrasi.

SF = faktor radiasi matahari (W/m²)

U_f = transmitansi termal fenetrasi ($W/m^2.K$)
 ΔT = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5K).

2.4. Perhitungan Beban Pendingin dengan Metode CLTD

Metode CLTD atau *Cooling Load Temperature Difference* adalah salah satu metode untuk menghitung beban pendingin pada suatu ruangan berdasarkan beda temperatur ruang dan temperatur lingkungan. (Standar Nasional Indonesia 2001). Perhitungan metode CLTD/SCL/CLF dibagi menjadi dua kondisi yaitu kondisi di luar ruangan dan kondisi di dalam ruangan.

2.4.1. Perhitungan Kalor dari Kondisi Luar Ruangan

a. Beban Radiasi Matahari Melalui Kaca

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

Dimana :

q = Beban pendingin karena radiasi matahari, W
 A = Luas permukaan kaca luar, m^2
 SC = Koefisien peneduh
 SCL = Faktor beban pendinginan matahari dengan atau tanpa peneduh dalam, W/m^2

b. Konduksi Matahari Melalui Kaca, Atap dan Dinding

$$Q = U.A. (CLTD) \quad (2.3)$$

Dimana :

Q = Beban pendingin, W
 U = Koefisien perpindahan kalor rancangan untuk atap atau dinding atau untuk Kaca, $W/(m^2.K)$
 A = Luas permukaan atap, dinding luar atau kaca luar, dihitung dari gambar Bangunan, m^2
 $CLTD$ = Perbedaan temperatur beban pendinginan atap, dinding atau kaca.

c. Beban Pendinginan dari Partisi, Atap dan Lantai

$$q = U.A.(t_b - t_{rc}) \quad (2.4)$$

Dimana :

U = Koefisien perpindahan kalor rancangan untuk partisi atap atau lantai.

A = Luas permukaan partisi, Atap atau lantai yang dihitung dari gambar kereta.

t_b = Temperatur ruangan yang bersebelahan

t_{rc} = Temperatur ruangan yang direncanakan.

2.4.2. Perhitungan Beban Pendinginan dari Kondisi Dalam Ruangan

a. Penumpang Kereta

$$q_{\text{sensibel}} = N (\text{penambahan } Q \text{ sensibel}).(\text{CLF}) \quad (2.5)$$

Dimana :

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

CLF = Faktor beban pendinginan sesuai jam penghunian.

b. Pencahayaan

$$q = W \cdot F_{ui} \cdot F_{sa} \cdot (\text{CLF}) \quad (2.6)$$

Dimana :

W = daya listrik dari pencahayaan lampu di dalam kereta (Watt)

F_{ui} = Faktor penggunaan pencahayaan

F_{sa} = Faktor toleransi khusus

CLF = Faktor beban pendinginan, sesuai jam penghunian.

c. Peralatan Listrik

$$q = P.E_f.(CLF) \quad (2.7)$$

Dimana :

P = Daya listrik yang digunakan

E_f = Faktor efisiensi

CLF = Faktor beban pendinginan sesuai jam
penghunian

2.4.3. Udara Ventilasi dan Udara Infiltrasi

$$q_{\text{sensibel}} = (1,23).Q.(t_0 - t_1) \quad (2.8)$$

$$q_{\text{Laten}} = (3010).Q.(W_0 - W_1) \quad (2.9)$$

$$q_{\text{TOTAL}} = (1,20).Q.(h_0 - h_1) \quad (2.10)$$

Dimana :

Q = Ventilasi dalam liter per detik, dan infiltrasi.

t_0, t_1 = Temperatur udara luar dan temperatur udara di dalam ruangan.

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

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

2.5. CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

Komputasi fluida dinamik atau CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah penyelesaian aliran dinamika fluida secara numerik yang dilakukan oleh komputer. CFD menyelesaikan persamaan kontinyu menjadi model diskrit. Alur dan langkah pengerjaan CFD dapat dikelompokkan menjadi 3 tahap yaitu *pre-processing*, *Solving* atau *Processing* dan *Post Processing*. (Tuakia, Firman; 2008)

- *Pre-Processing*

Pada tahap ini dimulai dengan menentukan domain dan desain geometri yang akan di simulasikan. Selanjutnya

melakukan proses *meshing* atau membagi jumlah *grid* pada desain geometri dan menentukan sifat fluida yang diamati. Setelah itu menentukan kondisi batas atau *boundary condition* dari geometri yang telah dibuat.

- *Solver* atau *Processor*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan persamaan model fluida dari kondisi batas yang ditentukan. Perhitungan ini dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau mencapai kondisi konvergen. (Ulfa, Lustyyah 2012). Model persamaan turbulensi menggunakan k-epsilon dengan standar *wall fuction*.

- *Post-Procesing*

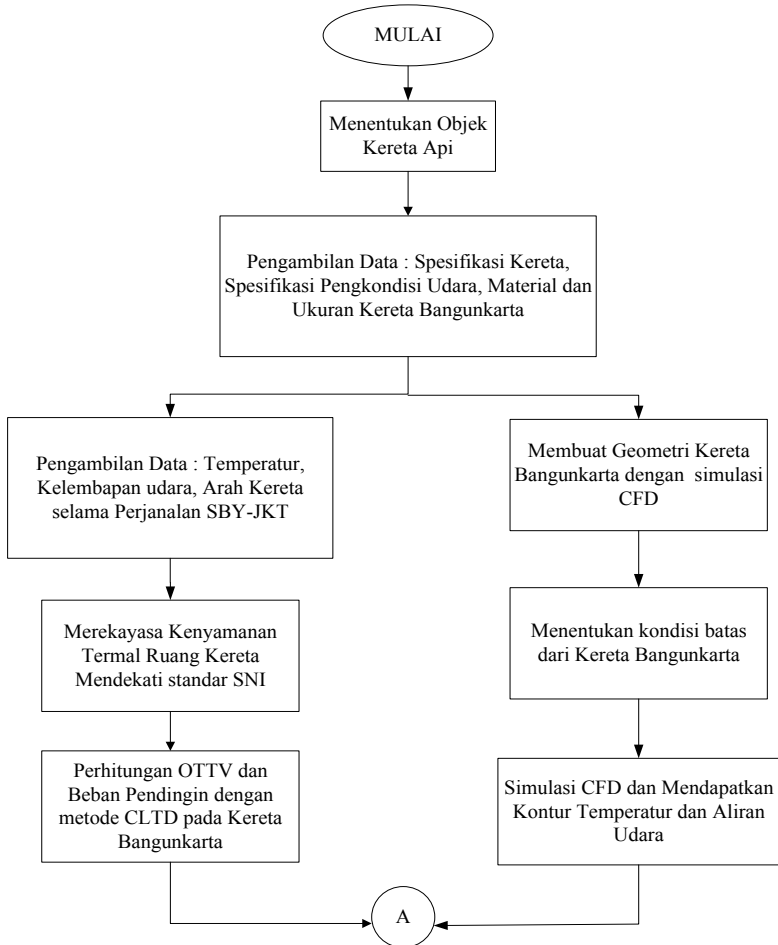
Tahap akhir untuk melihat perhitungan dari simulasi CFD. Hasil yang dapat dilihat dari kontur, *streamline*, grafik dan animasi dengan pola warna tertentu dari model geometri yang telah dibuat. Pada penelitian ini akan diamati distribusi kontur temperatur dari model kereta. Untuk melihat kontur temperatur, dengan memotong bidang/*plane* dari model geometri seperti bidang XY, YZ atau XZ. Kecepatan udara dari setiap bidang atau keseluruhan akan ditampilkan dalam bentuk *streamline* atau kontur kecepatan.

Halaman ini memang dikosongkan

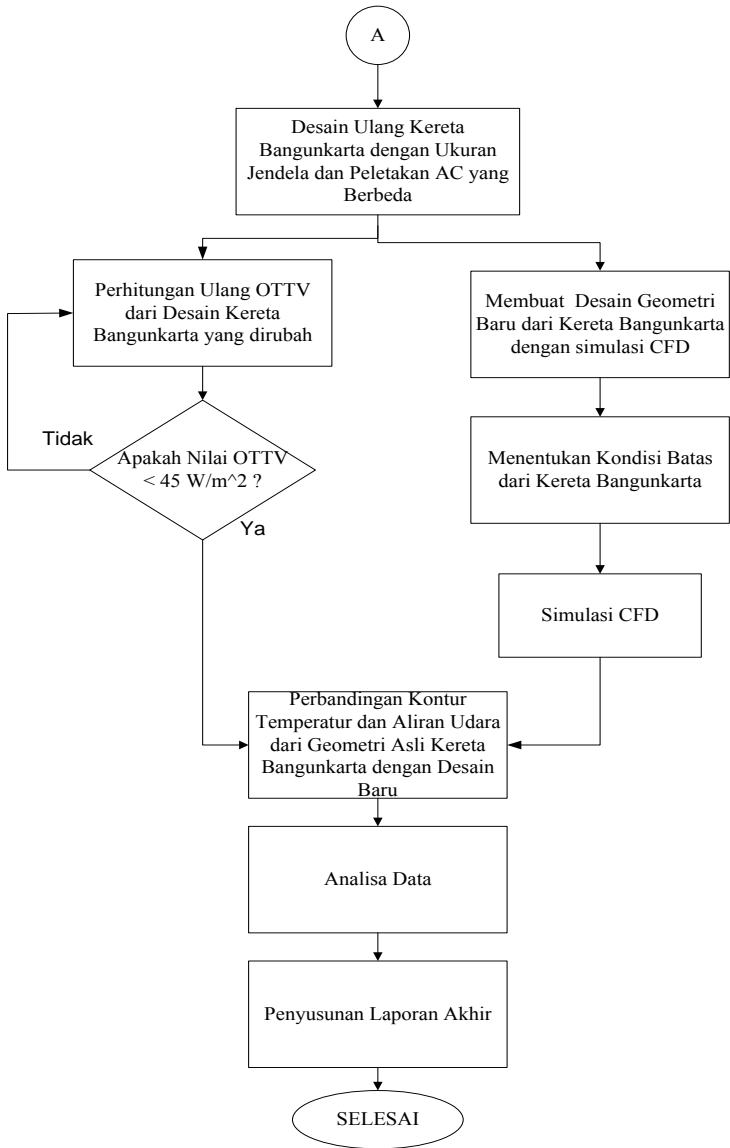
BAB III METODOLOGI

3.1. Alur Penelitian

Penelitian tugas akhir yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Diagram Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

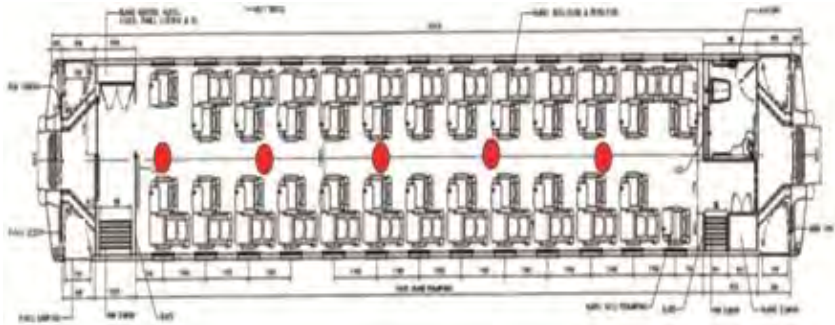
Pada Gambar 3.1 adalah diagram alir penelitian tugas akhir yang dimulai dari penentuan kereta api yang akan diteliti yaitu kereta Bangunkarta atau kereta K1 (kereta eksekutif). KA Bangunkarta memiliki jenis AC yang berbeda dari kereta komersial lainnya yaitu AC paket yang letaknya di kedua ujung atas kereta. Pengambilan data spesifikasi, jenis material, ukuran dan tipe pengkondisian udara yang ada di kereta bangunkarta dilakukan di Dipo Kereta Sidotopo dan pengambilan data temperatur, kelembapan udara dan arah kereta dilakukan selama perjalanan kereta dari Stasiun Surabaya Gubeng sampai Stasiun Jatinegara. Penelitian dilanjutkan dengan menghitung nilai OTTV dari kereta Bangunkarta dan mensimulasi kondisi temperatur dan aliran udara dengan simulasi CFD. Nilai OTTV yang didapat diteruskan dengan menghitung beban pendingin dengan metode CLTD. Simulasi CFD yang telah dilakukan, akan mendapatkan kondisi kontur temperatur dan aliran udara di kereta bangunkarta.

Desain ulang kereta Bangunkarta bertujuan untuk mengurangi nilai OTTV yang besar ketika kereta Bangunkarta melakukan perjalanan dari pukul 14.00 WIB hingga 18.00 WIB. Desain yang dimaksud dengan merubah ukuran jendela kereta seperti jendela pesawat komersial dengan harapan dapat mengurangi nilai OTTV. Pada desain ulang kereta Bangunkarta ini juga dihitung nilai OTTV dan beban pendingin serta simulasi desain kereta bangunkarta yang baru dengan simulasi CFD. Desain simulasi CFD digunakan untuk mengkondisikan kenyamanan termal dalam ruang kereta berdasarkan standar SNI. Nilai OTTV yang diharapkan adalah kurang dari 45 W/m^2 , karena dengan nilai OTTV yang kecil akan mengurangi beban pendingin yang ada di ruang kereta bangunkarta. Pada simulasi CFD akan dibandingkan kondisi kontur temperatur dan aliran udara dari kereta bangunkarta yang aktual dan desain.

3.2. Objek Penelitian

Kereta Bangunkarta adalah kereta satwa (K1) eksekutif yang melayani rute dari stasiun Surabaya Gubeng sampai Stasiun Gambir Jakarta. Perjalanan dilakukan selama kurang lebih 13 Jam

dengan jarak tempuh sekitar 738 Km (PT. Kereta Api Indonesia (Persero) 2014). Kereta eksekutif Bangunkarta memiliki kapasitas penumpang satu kereta sebesar 50 orang/kereta. Spesifikasi kereta Bangunkarta dapat dilihat pada Lampiran A. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran suhu dan kelembapan baik yang ada di dalam kereta dan lingkungan. Pengambilan data dilakukan setiap jam dari jam 14.00 WIB sampai 03.15 WIB. Pengukuran suhu dan kelembapan di dalam kereta dilakukan di beberapa titik seperti pada Gambar 3.2 dan saat pengambilan di setiap titik pengukuran diambil 5 sampel suhu dan kelembapan.



Gambar 3.2. Titik Pengukuran Suhu dan Kelembapan di Kereta Bangunkarta.

Pengambilan data dimulai dari bagian depan hingga bagian belakang ruang kereta penumpang dan hanya dilakukan pada satu kereta yaitu kereta 3, dimana dapat mewakili kondisi keseluruhan rangkaian kereta. Keterangan nama pengambilan titik pengukuran adalah sebagai berikut :

- Titik 1 : Ruang Kereta dengan nomor bangku 12 (1,8 m dari Pintu depan).
- Titik 2 : Ruang Kereta dengan nomor bangku 10 (5,4 m dari Pintu depan)
- Titik 3 : Ruang Kereta dengan nomor bangku 6 (10,20 m dari Pintu depan) .

Titik 4 : Ruang Kereta dengan nomor bangku 4 (12,60 m dari Pintu depan)

Titik 5 : Ruang Kereta dengan nomor bangku 1 (16,20 m dari Pintu depan)

Kondisi kereta selama pengukuran berlangsung ada pada Gambar 3.3. jumlah penumpang maksimum pada tanggal pengukuran yaitu 5 Desember 2014 adalah 30 Orang.



Gambar 3.3. Suasana Ruang Kereta Bangunkarta

Dalam penelitian ini akan dihitung nilai OTTV dan beban pendingin dari kereta Bangunkarta. Beban internal yang ada di dalam kereta adalah penumpang, peralatan elektronik dan lampu. Pada Tabel 3.1 menunjukkan kondisi penumpang saat pengukuran berlangsung dan Tabel 3.2 adalah peralatan elektronik yang ada di kereta Bangunkarta.

Tabel 3.1. Data Penumpang KA Bangunkarta-3

Stasiun	Jumlah Penumpang
Surabaya Gubeng	9
Mojokerto	9
Jombang	10
Nganjuk	15
Madiun	15
Paron	19
Sragen	19
Semarang Tawang	27
Pekalongan	27
Pemalang	30
Tegal	21
Cirebon	27
Jatinegara	27

Tabel 3.2. Peralatan Elektronik yang ada di KA Bangunkarta-3

No	Item	Jumlah	Daya Satuan (W)	Daya Total (W)	Waktu Pemakaian (Jam)
1	TV merk SONY	2	80	160	10
2	Lampu Bordes	6	18	108	13
3	Lampu Ruangan	5	36	180	13

Tabel 3.2. Lanjutan Peralatan Elektronik yang ada di KA Bangunkarta-3

No	Item	Jumlah	Daya Satuan (W)	Daya Total (W)	Waktu Pemakaian (Jam)
4	Lampu Bagasi	11	18	198	13
5	Lampu Kamar Mandi	2	18	36	13
6	Speaker	8	9	72	13
7	Vidio Distribusi	5	5	25	13

Penumpang dari Stasiun Surabaya Gubeng Kurang dari 10 orang dan bertambah hingga 19 orang pada Stasiun Paron. Penumpang maksimum dalam kereta Bangunkarta pada Tabel 3.1 adalah 30 orang dan hampir sebagian dari kapasitas kursi yang disediakan. Data peralatan elektronik yang ada pada tabel 3.2 diambil dari (PT.Industri Kereta Api (INKA) 1999) dan konsultasi dengan operator Listrik di Depo Kereta Sidotopo.

3.3. Perhitungan OTTV

Perhitungan OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) pada kereta Bangunkarta dimulai dari mengetahui orientasi arah dinding kereta. Penentuan arah bidang kereta dilakukan selama setiap jam dari mulai Stasiun Gubeng, Surabaya sampai Stasiun Jatinegara, Jakarta. Kompas yang digunakan adalah sebuah aplikasi dari *Android* yang telah diunduh di *Play store*. Bentuk aplikasi kompas *Android* pada gambar berikut :



Gambar 3.4. Aplikasi *Compas Pro 360 Android*.

Cara menggunakan aplikasi ini sama dengan menggunakan kompas pada umumnya yaitu mengarahkan bagian atau tempat yang ingin diketahui arah orientasi bidang. Pada saat pengambilan data arah orientasi bidang, aplikasi yang terdapat di *handphone* ini diarahkan ke bagian dinding depan, dinding kiri, dinding kanan dan dinding belakang kereta. Pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 adalah hasil penentuan arah orientasi bidang pada setiap jam selama perjalanan kereta berlangsung. Pengukuran dilakukan setiap jam karena kereta terus bergerak dan berpindah arah mata angin setiap menit atau jam. Rute kereta Bangunkarta melewati jalur tengah menuju Stasiun Madiun kemudian akan melewati jalur utara menuju Semarang Tawang.

Tabel 3.3. Arah Mata Angin Bagian Depan Kereta

No	Jam (WIB)	Arah Kereta
1	14.00	239 SW
2	15.00	261 W
3	16.00	227 SW
4	17.00	256 W
5	18.00	270 W
6	19.00	11 N
7	20.00	280 W
8	21.00	313 NW
9	22.00	298 NW
10	23.00	271 W
11	00.00	273 W
12	01.00	321 NW
13	02.00	277 W
14	03.00	256 W
15	04.00	49 NE

Perhitungan OTTV berdasarkan SNI 03-6389-2000, pada standar ini bangunan dianggap tetap dan tidak bergerak sedangkan kereta bergerak, sehingga perhitungan OTTV diasumsikan sedang berhenti. Nilai OTTV dihitung pada pukul 14.00 WIB sampai 18.00 WIB. Pada Tabel 3.4 memperlihatkan arah orientasi bidang dari setiap bagian kereta selama waktu perhitungan OTTV.

Tabel 3.4. Orientasi Bidang Kereta Bangunkarta
Setiap Sisi Dinding

No	Jam (WIB)	Arah Sisi Dinding
1	14.00	Bordes Utara : 239 ⁰ SW Bordes Selatan : 57 ⁰ NE Dinding Kanan : 147 ⁰ SE Dinding Kiri : 327 ⁰ NW
2	15.00	Bordes Utara : 261 ⁰ W Bordes Selatan : 78 ⁰ E Dinding Kanan : 351 ⁰ N Dinding Kiri : 68 ⁰ S
3	16.00	Bordes Utara : 227 ⁰ SW Bordes Selatan : 46 ⁰ NE Dinding Kanan : 316 ⁰ NW Dinding Kiri : 137 ⁰ SE
4	17.00	Bordes Utara : 256 ⁰ W Bordes Selatan : 69 ⁰ E Dinding Kanan : 345 ⁰ N Dinding Kiri : 166 ⁰ S
5	18.00	Bordes Utara : 270 ⁰ W Bordes Selatan : 87 ⁰ E Dinding Kanan : 354 ⁰ N Dinding Kiri : 177 ⁰ S

Keterangan :

N	= Utara	S	= Selatan
NNE	= Utara Timur Laut	SSW	= Selatan Barat Daya
NE	= Timur Laut	SW	= Barat Daya
ENE	= Timur Timur Laut	WSW	= Barat Barat Daya
E	= Timur	W	= Barat
ESE	= Timur Tenggara	WNW	= Barat Barat Laut
SE	= Tenggara	NW	= Barat laut
SSE	= Selatan Tenggara	NNW	= Utara Barat Laut

Pada tabel 3.4 adalah orientasi bagian kereta untuk melakukan perhitungan nilai OTTV di kereta dengan menggunakan persamaan 2.1, selain itu tahapan dalam perhitungan OTTV adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai WWR (rasio perbandingan antara luas jendela dan luas dinding)
- Menentukan nilai U_w pada material penyusun dinding
- Menentukan SC (*Shading Coefficient*) dinding
- Menentukan SF (*Solar Factor*)
- Menghitung nilai OTTV pada persamaan 2.1. dan memeriksa apakah nilai OTTV total lebih besar atau lebih kecil atau sama dengan 45 W/m^2 .

3.3.1. Perhitungan Nilai OTTV Kereta Bangunkarta

Diketahui Kereta Bangunkarta :

- **Dinding Kereta**

Panjang Kereta	= 20 meter
Lebar/tinggi Kereta	= 1,7 meter
Luas Total Dinding Kereta adalah	= 20 meter x 1,7 meter
	= 34 m^2
- **Jendela Kereta**

Luas Jendela Dinding	= 181 cm x 81 cm
	= $1,466 \text{ m}^2$ (dikali ada 7 jendela dinding)
Total Luas Jendela Dinding	= $10,26 \text{ m}^2$

$$\begin{aligned}\text{Luas Jendela Pintu} &= 0,4 \text{ m}^2 \text{ (dikali ada 2 Jendela Pintu)} \\ \text{Total Jendela Pintu} &= 0,8 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Jadi, Total Jendela pada salah satu bidang kereta adalah

$$\begin{aligned}\text{Total Jendela Dinding} + \text{Total Jendela Pintu} &= (10,26 + 0,8) \\ &\text{m}^2 \\ &= 11,06 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- **Pintu Kereta**

$$\begin{aligned}\text{Luas Pintu} &= 1,4 \text{ m}^2 \text{ (dikali ada 2 pintu)} \\ \text{Total Luas Pintu} &= 2,8 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- **Menghitung Nilai WWR**

$$\text{WWR} = \frac{A_{\text{Jendela}}}{A_{\text{Dinding}}}$$

$$A_{\text{Dinding}} = \text{Total Luas Dinding} - \text{Total Luas Jendela Dinding} - \text{Total Luas Pintu (Dinding + Jendela)}$$

$$A_{\text{Dinding}} = 34 \text{ m}^2 - 10,26 \text{ m}^2 - (2,8 + 0,8) \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Dinding}} = 34 \text{ m}^2 - 10,26 \text{ m}^2 - 3,6 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Dinding}} = 20,14 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Jendela}} = \text{Total Luas Jendela Dinding} + \text{Total Luas Jendela Pintu}$$

$$A_{\text{Jendela}} = (10,26 + 0,8) \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Jendela}} = 11,06 \text{ m}^2$$

$$\text{Jadi, WWR} = \frac{11,06}{20,14}$$

$$\text{WWR} = 0,549$$

- **A (Luas) fenetrasi KA_ Bangunkarta**

- **Untuk dinding samping Dalam**

$$\begin{aligned}\text{Luas Fenetrasi} &= \text{Total Luas Dinding} - \text{Total Luas Jendela} \\ &\text{(Dinding + Pintu)} - \text{Luas Dinding sekat} \\ &\text{Kamar mandi} - \text{Luas Dinding Kotak Pengatur} \\ &\text{AC} - \text{Luas Pintu}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A fenetrasi} &= 34 \text{ m}^2 - (10,26 + 0,8) \text{ m}^2 - (2 \times 2,89 \text{ m}^2) - (2 \times \\ &\quad 1,4 \text{ m}^2) \\ &= 14,36 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk Dinding Depan dan Belakang

$$\begin{aligned} \text{A Fenetrasi} &= \text{Luas Dinding Depan} - \text{Luas Kamar Mandi} \\ &= (2,99 \times 1,7) - (1,7 \times 1,34) \\ &= 2,805 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **OTTV**

$$\text{OTTV} = 0,575 \cdot [(0,412 \times (1 - 0,549))] \times 10 + (0,57 \times 0,549 \times 211) + (2,89 \times 0,549 \times 5)$$

$$\text{OTTV} = 75,05 \text{ W/m}^2$$

3.3.2. Perhitungan OTTV Desain

Diketahui Desain Kereta Bangunkarta :

$$\text{OTTV} = 35 \text{ W/m}^2 \text{ (Target OTTV diketahui terlebih dahulu)}$$

$$\text{SF (Dinding Menghadap Barat Daya)} = 211$$

$$\alpha = \frac{(0,9 + 0,25)}{2} = 0,575$$

$$U_w = 0,412 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_f = 2,89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{TD}_{\text{EK}} = 10 \text{ K}$$

$$\Delta T = 5 \text{ K}$$

$$\text{SC} = 0,57$$

$$\text{WWR} = \frac{35 - (0,575 \times 0,412 \times 10)}{(0,57 \times 211) + (2,89 \times 5) - (0,575 \times 10)}$$

$$\text{WWR} = \frac{35 - 2,369}{120,27 + 14,45 - 5,75}$$

$$\text{WWR} = 0,253$$

$A_w \text{ Total} = \text{Total Luas Dinding} - \text{Total Luas Pintu (Dinding + Jendela)}$

$$A_w \text{ Total} = 34 \text{ m}^2 - 3,6 \text{ m}^2 \\ = 30,4 \text{ m}^2$$

$$A_w = \frac{A_{\text{wall TOTAL}}}{(1 + \text{WWR})} \\ = \frac{30,4}{(1 + 0,253)}$$

$$A_w = 24,26 \text{ m}^2$$

$$A_g = \text{WWR} \times A_w$$

$$A_g = 0,253 \times 24,26 \text{ m}^2$$

$$A_g = 6,14 \text{ m}^2 \text{ (Total Luas Jendela Dinding)}$$

Jendela Didesain ada 13 buah sesuai baris penumpang pada Kereta Bangunkarta. Satu Jendela memiliki Luasan sebesar $0,47 \text{ m}^2$. Jika Luasan Jendela berbentuk Lingkaran maka jari – jari serta diameter ukuran jendela adalah sebagai berikut :

$$L = \pi \times r^2$$

$$0,47 = \pi \times r^2$$

$$\frac{0,47}{\pi} = r^2$$

$$r = 0,386 \text{ m}$$

$$D = 0,773 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan nilai WWR, Luas Dinding, Luas Jendela pada Desain Kereta Bangunkarta yang baru maka selanjutnya menghitung nilai $A_{\text{fenetrasi}}$ dari hasil desain sebagai berikut :

- **A (Luas) fenetrasi Desain KA_ Bangunkarta**

A (Luas) Fenetrasi adalah Luasan dalam ruang yang disinari dan bersebelahan dengan dinding yang dihitung

Untuk dinding samping Dalam

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Fenetrasi} &= \text{Total Luas Dinding} - \text{Total Luas Jendela} \\
 &\quad (\text{Dinding} + \text{Pintu}) - \text{Luas Dinding sekat} \\
 &\quad \text{Kamar mandi} - \text{Luas Dinding Kotak Pengatur} \\
 &\quad \text{AC} - \text{Luas Pintu} \\
 \text{A fenetrasi} &= 34 \text{ m}^2 - (6,14 + 0,8) \text{ m}^2 - (2 \times 2,89 \text{ m}^2) - (2 \times \\
 &\quad 1,4 \text{ m}^2) \\
 &= 18,48 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk Dinding Depan dan Belakang

$$\begin{aligned}
 \text{A Fenetrasi} &= \text{Luas Dinding Depan} - \text{Luas Kamar Mandi} \\
 &= (2,99 \times 1,7) - (1,7 \times 1,34) \\
 &= 2,805 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3.4. Perhitungan Beban Pendingin

Setelah melakukan perhitungan nilai OTTV selanjutnya menghitung beban pendingin dengan metode CLTD. Pada metode ini dihitung beban eksternal dan beban internal dalam kereta. Beban Internal meliputi beban penumpang, beban peralatan elektronik dan beban pencahayaan. Untuk beban penumpang dihitung setiap Stasiun pemberhentian karena ada penumpang yang keluar dan masuk sehingga jumlah penumpang dapat berubah. Beban eksternal adalah beban konduksi dari dinding, jendela, atap, dan lantai, beban radiasi jendela, beban partisi dari kereta, dan udara & infiltrasi. Setiap jam dari perjalanan kereta akan dihitung beban pendingin dari data hasil pengukuran.

Penumpang atau manusia memberikan panas sesuai aktifitas yang dilakukan, penumpang kereta dianggap sedang duduk santai di suatu ruangan atau hotel sehingga nilai panas sensibel adalah 70 W dan panas laten adalah 45 W (Tabel ASHRAE 1997). Data peralatan elektronik seperti TV, Audio, AC, Speaker, dan Lampu didapatkan dari Buku Manual (PT.Industri Kereta Api (INKA) 1999) dan Operator Dipo Kereta Sidotopo.

Dalam perhitungan beban konduksi dinding, atap dan jendela diperlukan data U (*Thermal trasmittance*) dan luas penampang dari bagian kereta tersebut dan suhu ruang dan lingkungan yang

telah diukur dengan menggunakan RH meter. Perbedaan temperatur lingkungan dan ruangan pada setiap jam akan berubah karena kereta melakukan perjalanan di daerah dengan kondisi yang berbeda. Sehingga perhitungan beban eksternal dihitung setiap jam seperti beban internal. Ventilasi dan Infiltrasi adalah panas yang berasal dari udara yang masuk melalui sekat pintu kereta dan celah ventilasi.

3.5. Simulasi CFD

Desain Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aliran udara yang ada di kereta Bangunkarta dan distribusi temperatur di ruang kereta. Desain geometri pada simulasi ini ada lima yang pertama yaitu desain kereta seperti desain KA Bangunkarta dan empat lainnya adalah desain KA dengan merubah letak AC *blower* dan luasan jendela yang dirubah seperti jendela pesawat komersial.

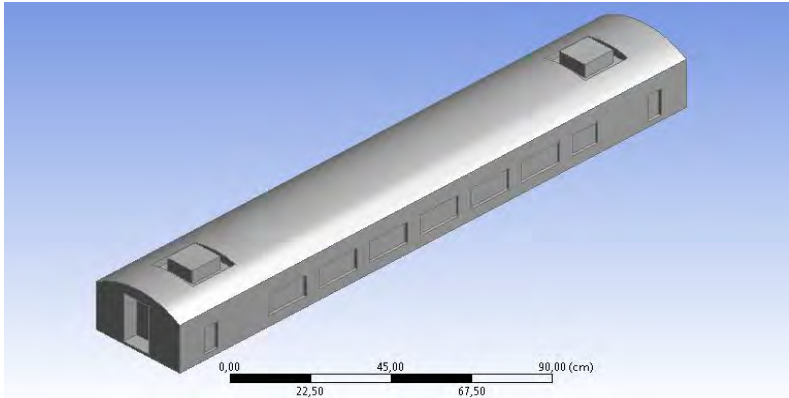
3.5.1. Pre-Processing

Pada tahap ini dimulai dengan membuat desain geometri 3D dengan simulasi CFD. Sketsa dibuat pada bidang XY dengan ukuran panjang 29 cm dan tinggi 18 cm dan lengkungan atap dengan *arc by 3 point*. Kemudian sketsa bidang XY di *extrude* dengan ukuran 200 cm yang merepresentasikan kereta asli KA Bangunkarta dengan ukuran 20 m. Skala dari desain asli dan desain pada simulasi CFD adalah 1:10. Pada Tabel 3.5 adalah memasukan kondisi batas untuk simulasi CFD, untuk desain asli KA Bangunkarta.

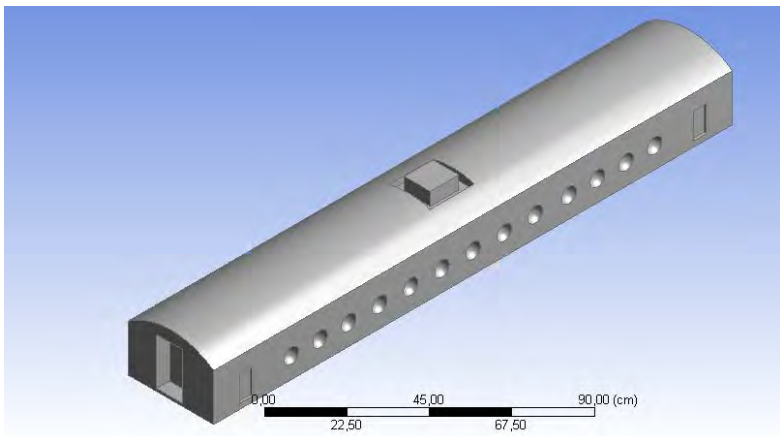
Tabel 3.5. Kondisi Batas Simulasi CFD (Pukul 14.00 WIB)

No	Nama Parameter KA	Type Kondisi Batas	Input Data
1	AC	<i>Exhaust fan</i>	P= 100000 Pascal T = 294 K
2	<i>Bathroom</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
3	<i>Roof</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
4	<i>Floor</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
5	<i>Ducting</i>	<i>Velocity Inlet</i>	V = 16 m/s T = 285,96 K
6	<i>Wall Left</i>	<i>Wall</i>	T = 294 K
7	<i>Wall Right</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
8	<i>Window Left</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
9	<i>Window Right</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
10	<i>Bordes Front</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
11	<i>Bordes Behind</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
12	<i>Door Front</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K
13	<i>Door Behind</i>	<i>Wall</i>	T = 301,5 K

Pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 adalah hasil pembuatan desain geometri dengan simulasi CFD. Langkah selanjutnya adalah *mesh* dari geometri yang telah dibuat dimana ukuran *mesh* untuk semua parameter adalah 1 cm dan metode yang digunakan adalah *Tetrahedral/hybrid-Trigid*, model persamaan adalah *k-epsilon standard* dengan *standar wall fuction*. Kondisi batas untuk semua desain simulasi CFD dibuat sama seperti pada Tabel 3.5.



Gambar 3.5. Desain Geometri KA Bangunkarta dengan simulasi CFD.



Gambar 3.6. Desain Geometri Baru KA Bangunkarta dengan Simulasi CFD.

Pada Gambar 3.6 adalah desain geometri dari KA. Bangunkarta dengan merubah luasan jendela dan peletakan AC *blower* di bagian tengah. Simulasi CFD yang dibuat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Simulasi KA_1 : Model KA. Bangunkarta Aktual.
- Simulasi KA_2 : Model KA. dengan jendela bulat dan 2 buah *AC blower*.
- Simulasi KA_3 : Model KA. dengan jendela bulat dan 1 buah *AC blower* di ujung atas depan.
- Simulasi KA_4 : Model KA. dengan jendela bulat dan 1 buah *AC blower* di ujung atas belakang.
- Simulasi KA_5 : Model KA, dengan jendela bulat dan 1 buah *AC blower* ditengah ruang kereta.

Dalam simulasi CFD ini akan diteliti kontur distribusi temperatur ruang kereta dan aliran udara (*streamline*) pada semua desain model kereta Bangunkarta yang dibuat dan juga dilakukan simulasi dengan 3 kondisi waktu yang berbeda yaitu pukul 14.00 WIB, pukul 17.00 WIB dan pukul 21.00 WIB.

3.5.2. Solver

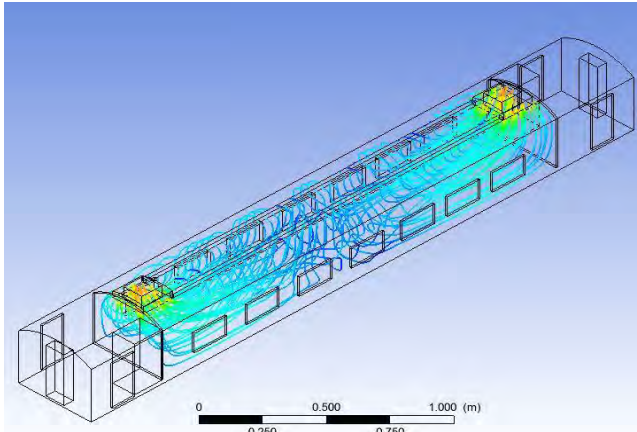
Tahapan ini berupa penentuan skala model, dan perhitungan iterasi dengan parameter pada tabel 3.6 yang telah ditentukan sebelumnya. Persamaan yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah persamaan energi dan model turbulen k-epsilon *Standar wall Function*.

Tabel 3.6. Penentuan Parameter Simulasi Tahap *Solver*

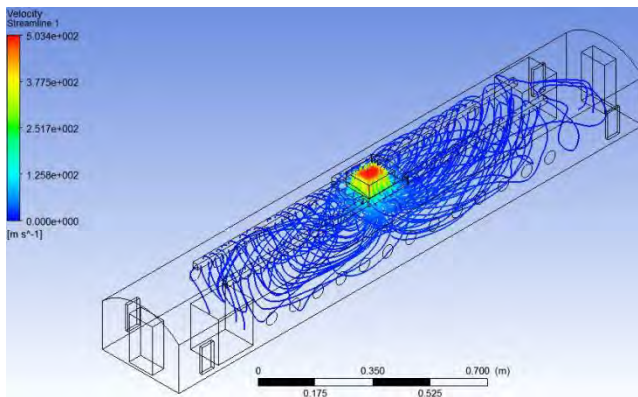
No	Parameter	Jenis
1	<i>Viscous Model</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Energy Equation</i> • <i>K-e Standar Wall Function</i>
2	Model Geometri	3 Dimensi
3	Keadaan	<i>Steady</i>
4	<i>Material Properties</i>	<i>Fluid : Air</i> <i>Solid : Steel and Alumunium</i>
	Batas Iterasi Maksimum	100

3.5.3. *Post-Processing*

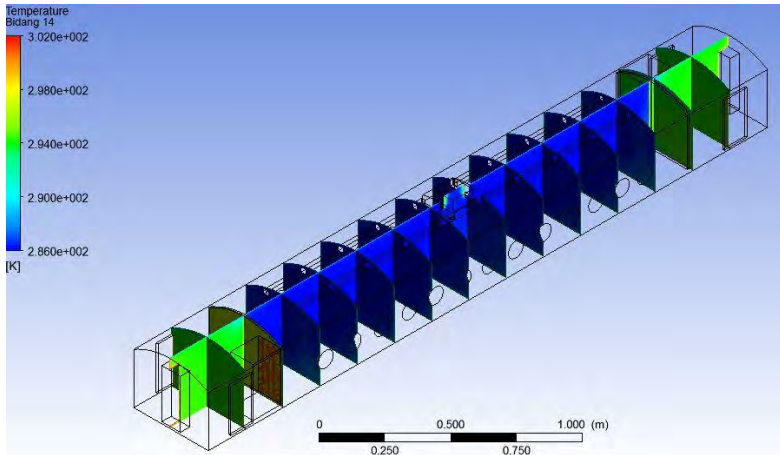
Tahap ini adalah hasil dari perhitungan iterasi simulasi CFD yang dapat ditampilkan dengan kontur temperatur dan kecepatan udara serta pergerakan aliran udara (*Streamline*). Hasil aliran udara (*streamline*) dari simulasi terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Streamline* Aliran di Dalam Kereta



Gambar 3.8. Kontur Kecepatan Udara di Dalam Kereta



Gambar 3.9. Kontur Temperatur di Dalam Kereta

Pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 adalah hasil simulasi CFD untuk melihat distribusi temperatur dan kecepatan udara dengan bagian kereta di dalam dipotong atau membuat *plane* bidang YZ dan XY pada simulasi, yang merepresentasikan kondisi tengah dan kondisi bagian bangku penumpang, sehingga distribusi suhu dan aliran udara dapat dilihat.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengukuran Termal Kereta Bangunkarta

Hasil pengukuran termal ruang kereta Bangunkarta yang meliputi besaran fisis temperatur (suhu) dan Kelembapan relatif (RH) ditunjukkan pada Tabel 4.1. dan Tabel 4.2. Pengukuran temperatur dan kelembapan udara relatif yang telah dilakukan setiap jam dari Stasiun Surabaya Gubeng sampai Stasiun Jatinegara pada titik – titik pengukuran ruang kereta Bangunkarta.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Temperatur Ruang Kereta.

Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata - Rata Temperatur
14.00 - 15.00	18,65	18,4	17,7	17,95	18,4	18,22
16.00 - 18.00	18,5	18,2	17,86	17,7	17,33	17,92
19.00 - 21.00	20,33	19,4	19,2	18,76	18,33	19,21
22.00 - 00.00	19,43	19,2	18	17,73	17,33	18,34
01.00 - 03.00	24,06	23,73	23,4	23,53	23,66	23,68

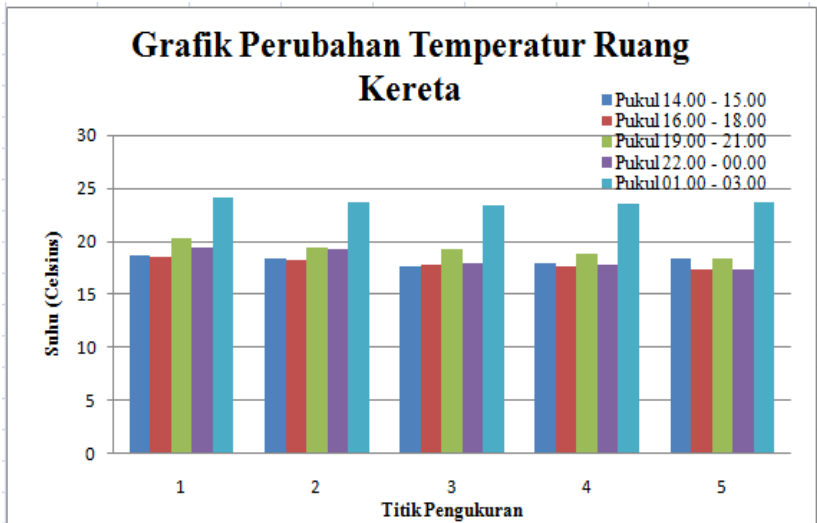
Dalam pengukuran ini tidak semua rangkaian kereta diukur temperatur dan kelembapannya, hanya kereta nomor 3. Pengambilan data pengukuran menggunakan termometer infra merah untuk mengetahui temperatur jendela, lantai, atap, pintu dan dinding sedangkan RH meter digunakan untuk mengetahui kelembapan udara relatif dan temperatur dari ruang kereta. Pada Tabel 4.2 adalah Hasil Pengukuran Kelembapan Udara Relatif dari Ruang Kereta.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Kelembapan Udara Relatif Ruang Kereta

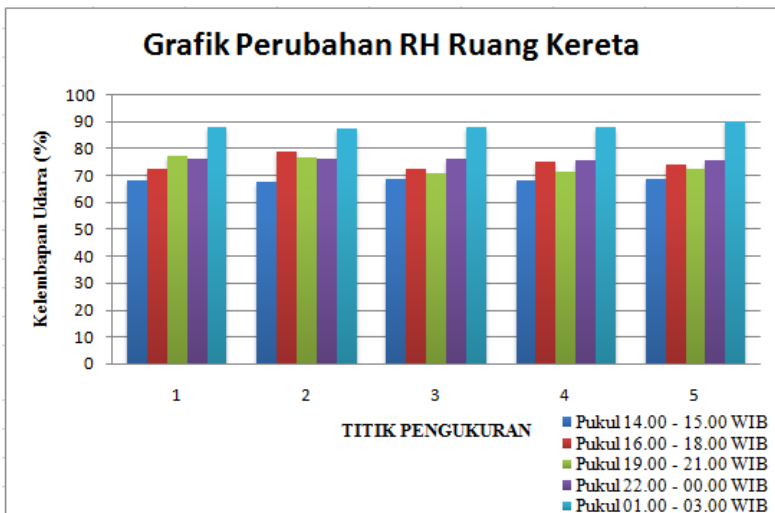
Waktu	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata - Rata RH
14.00 - 15.00	68,12	67,7	68,41	68,1	68,53	68,17
16.00 - 18.00	72,45	78,56	72,45	74,82	73,88	74,43
19.00 - 21.00	77,13	76,81	70,76	71,04	72,34	73,62
22.00 - 00.00	76,24	75,86	76,24	75,56	75,72	75,92
01.00 - 03.00	87,98	87,38	87,98	88	89,80	88,23

Pada awal keberangkatan kereta pukul 14.15 WIB, suhu ruangan kereta diatur pada temperatur 22,7 °C, hasil ini dilihat pada layar ruang kereta. Selama perjalanan pukul 14.30 – 16.00 WIB kondisi lingkungan hujan dan suhu lingkungan berkisar antara 22,4 – 26 °C. Kondisi temperatur ruang kereta mengalami penurunan suhu dari awal keberangkatan Pukul 14.30 WIB sampai dengan Pukul 18.00 WIB sebesar 0,4 – 1,9 °C. Pada pengukuran temperatur di beberapa titik ruang kereta, rata – rata temperatur berkisar antara 17,95 – 18,65 °C pada pukul 14.00 – 18.00 WIB. Kondisi tersebut belum mencapai kondisi SNI untuk kenyamanan temperatur ruang. Pada gambar 4.1 menunjukkan perubahan suhu yang terjadi selama perjalanan kereta.

Pada Tabel 4.2 adalah hasil pengukuran Kelembapan udara relatif dari ruang kereta. Kelembapan ruang kereta pada setiap jam mendekati dan hampir sama dengan kriteria SNI yaitu sekitar RH 70%, tetapi pada 3 jam terakhir pengukuran kelembapan relatif naik dan tidak memenuhi standar SNI. Hal ini dapat dipengaruhi peningkatan temperatur AC yang telah dinaikkan pada pukul 00.30 WIB. Untuk grafik perubahan RH dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.1. Grafik Perubahan Temperatur Ruang Kereta Rata – rata Per Jam.



Gambar 4.2. Grafik Perubahan Kelembapan Udara Ruang Kereta Rata - rata Per Jam

4.2. Perhitungan OTTV Kondisi Aktual

Konstruksi Kereta api Bangunkarta dibuat dari beberapa lapisan seperti plat baja, *rockwool*, *fiber glass* dan ada celah udara. Bahan pelapis tersebut memiliki ketebalan dan konduktivitas termal yang berbeda, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran A tentang Spesifikasi KA. Bangunkarta. Kondisi ruang kereta dalam keadaan baik yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pada bagian atap, dinding luar dan dinding depan/belakang memiliki lapisan dan bahan pelapis yang sama, sedangkan untuk lantai terdapat tambahan semen, *lenoleum* dan *plywood*.

Banyak jenis dan ukuran dari jendela kereta, pada kereta Gajayana dan Turangga jendela berukuran 54 cm x 78 cm dengan jumlah 13 buah pada salah satu sisi. Jendela Kereta Bangunkarta berukuran 181 cm x 81 cm dengan jumlah 7 buah pada salah satu sisi. Ketebalan jendela untuk semua jenis jendela kereta sama yaitu 10 mm. Pada penelitian ini akan dihitung nilai OTTV pada kondisi aktual KA. Bangunkarta dan kondisi desain dengan merubah ukuran jendela kereta menjadi jendela pesawat dengan diameter 30 cm. Sehingga akan dibandingkan nilai OTTV yang baik dan kurang dari 45 W/m² sesuai SNI 03-6389-2000.

Profil detail bahan material dan dimensi dari ruang kereta adalah sebagai berikut :

- Absorpsi = $\alpha_{\text{Total}} = (\alpha_{\text{Baja}} + \alpha_{\text{Cat}})/2 = (0,9 + 0,25)/2 = 0,575$.
- Transmittance dinding Kiri & Kanan = $U_{\text{wall}} = 0,412 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Transmittance dinding Depan & Belakang = $U_{\text{wall}} = 0,410 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Transmittance kaca = $U_{\text{glass}} = 2,89 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Luas Area dinding Kiri & Kanan = $A = 20,14 \text{ m}^2$
- Luas Area dinding Depan dan Belakang = $A = 7,97 \text{ m}^2$
- *Window to wall ratio* (WWR) dinding kiri & kanan = 0,549
- *Window to wall ratio* (WWR) dinding depan dan belakang adalah 0 karena tidak memiliki jendela.
- *Outdoor-Indoor equivalent temperature difference* $TD_{\text{EK}} = 10 \text{ K}$
- *Shading Coefficient* = 0,57

- Faktor radiasi matahari ($SF, W/m^2$) pada Tabel 4.3. berikut :

Tabel 4.3. SF dari Orientasi Bangunan

Orientasi	U	TL	T	TGR	S	BD	B	BL
	130	113	112	97	97	176	243	211

Perhitungan OTTV dimulai pukul 14.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB dengan orientasi dari kereta yang berubah setiap jamnya (Lihat Tabel 3.3 dan Tabel 3.4). Pada bagian depan dan belakang kereta tidak memiliki jendela sehingga nilai $WWR = 0$. Hasil Perhitungan OTTV di setiap sisi kereta setiap jam pada ruang kereta adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4. Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 14.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m^2)
Dinding Kiri	Tenggara	44,06
Dinding Kanan	Barat laut	75,05
Dinding Depan	Barat Daya	2,35
Dinding Belakang	Timur Laut	2,35

Tabel 4.5. Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 15.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m^2)
Dinding Kiri	Selatan	39,36
Dinding Kanan	Utara	49,69
Dinding Depan	Barat	2,35
Dinding Belakang	Timur	2,35

Tabel 4.6. Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 16.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m^2)
Dinding Kiri	Tenggara	44,06
Dinding Kanan	Barat laut	75,05
Dinding Depan	Barat Daya	2,35
Dinding Belakang	Timur Laut	2,35

Tabel 4.7. Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 17.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m^2)
Dinding Kiri	Selatan	39,36
Dinding Kanan	Utara	49,69
Dinding Depan	Barat	2,35
Dinding Belakang	Timur	2,35

Tabel 4.8. Perhitungan OTTV Aktual pada Pukul 18.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m^2)
Dinding Kiri	Selatan	39,36
Dinding Kanan	Utara	49,69
Dinding Depan	Barat	2,35
Dinding Belakang	Timur	2,35

Tabel 4.9. Perhitungan OTTV Aktual Total Per Jam

Waktu	OTTV _{Total} (W/m^2)
14.00 WIB	46,11
15.00 WIB	34,61
16.00 WIB	41,11
17.00 WIB	34,61
18.00 WIB	34,61

Pergerakan kereta setiap jam berubah orientasi bidang, dan mempengaruhi besarnya nilai faktor radiasi dari orientasi bidang tersebut. Dimana orientasi dinding yang menghadap ke arah barat memiliki orientasi bidang yang tinggi sehingga dapat meningkatkan nilai OTTV. WWR pada dinding depan dan belakang tidak ada sehingga nilai WWR = 0. Pada tabel 4.9 nilai OTTV Total pada setiap jam lebih dari standar SNI, untuk nilai OTTV yaitu $45 W/m^2$ tetapi untuk nilai OTTV pada kanan yang menghadap orientasi barat laut memiliki OTTV lebih besar yaitu $75,05 W/m^2$ (Tabel 4.4 dan Tabel 4.6). Faktor yang

mempengaruhi besar kecilnya nilai OTTV terdapat pada nilai WWR dan arah bidang dari bangunan tersebut. Pada bagian 4.3 akan dijelaskan rekomendasi yang diberikan untuk mengurangi nilai OTTV pada ruang kereta.

4.3. Perhitungan Ulang OTTV Desain KA. Bangunkarta

Setelah menghitung nilai OTTV dan Beban pendingin dari Kereta. Selanjutnya menghitung ulang OTTV pada desain KA. Bangunkarta dengan merubah ukuran jendela dan dinding. Pada penelitian ini, direkomendasikan ukuran jendela kereta Bangunkarta yang memiliki ukuran sebelumnya 181cm x 81 cm (Jendela Kotak) dirubah seperti jendela pesawat dengan diameter 77,3 cm (Jendela Bulat). Dengan berubah luasan jendela maka luasan dinding samping luar juga berubah. Pada bagian depan dan belakang kereta (Bordes) tidak ada perubahan desain.

Profil detail bahan material dan dimensi dari ruang kereta adalah sebagai berikut :

- Target OTTV adalah 35 W/m^2 .
- Absorpsi $= \alpha_{\text{Total}} = (\alpha_{\text{Baja}} + \alpha_{\text{Cat}})/2 = (0,9 + 0,25)/2 = 0,575$.
- Transmittance dinding Kiri & Kanan $= U_{\text{Wall}} = 0,412 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Transmittance dinding Depan & Belakang $= U_{\text{Wall}} = 0,410 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Transmittance kaca $= U_{\text{glass}} = 2,89 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Luas Area dinding Kiri & Kanan $= A = 24,26 \text{ m}^2$
- Luas Area dinding Depan dan Belakang $= A = 7,97 \text{ m}^2$
- *Window to wall ratio* (WWR) dinding kiri & kanan $= 0,253$
- *Window to wall ratio* (WWR) dinding depan dan belakang adalah 0 karena tidak memiliki jendela.
- *Outdoor-Indoor equivalent temperature difference* $\text{TD}_{\text{EK}} = 10 \text{ K}$
- *Shading Coefficient* $= 0,57$
- Faktor radiasi matahari (SF, W/m^2) pada Tabel 4.4.

Tabel 4.10. Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 14.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m²)
Dinding Kiri	Tenggara	21,58
Dinding Kanan	Barat laut	32,20
Dinding Depan	Barat Daya	2,35
Dinding Belakang	Timur Laut	2,35

Tabel 4.11. Perhitungan OTTV Desain pada Pukul 15.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m²)
Dinding Kiri	Selatan	20,52
Dinding Kanan	Utara	35,34
Dinding Depan	Barat	2,35
Dinding Belakang	Timur	2,35

Tabel 4.12. Perhitungan OTTV pada Pukul 16.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m²)
Dinding Kiri	Tenggara	21,58
Dinding Kanan	Barat laut	32,20
Dinding Depan	Barat Daya	2,35
Dinding Belakang	Timur Laut	2,35

Tabel 4.13. Perhitungan OTTV pada Pukul 17.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m²)
Dinding Kiri	Selatan	20,52
Dinding Kanan	Utara	35,34
Dinding Depan	Barat	2,35
Dinding Belakang	Timur	2,35

Tabel 4.14. Perhitungan OTTV pada Pukul 18.00 WIB.

Bagian Kereta	Orientasi	OTTV (W/m²)
Dinding Kiri	Selatan	20,52
Dinding Kanan	Utara	35,34
Dinding Depan	Barat	2,35
Dinding Belakang	Timur	2,35

Dari Tabel 4.10 sampai Tabel 4.14 nilai OTTV desain kereta bangunkarata dengan merubah ukuran jendela dan dinding dapat mengurangi nilai OTTV kurang dari standar OTTV SNI yaitu 45 W/m². Pada Tabel 4.15 adalah OTTV Total desain kereta Bangunkarta pada setiap jam.

Tabel 4.15 Perhitungan OTTV Total Per Jam

Waktu	OTTV_{Total} (W/m²)
14.00 WIB	22,01
15.00 WIB	22,85
16.00 WIB	22,51
17.00 WIB	22,85
18.00 WIB	22,85

4.4. Perhitungan Beban Pendingin dengan Metode CLTD

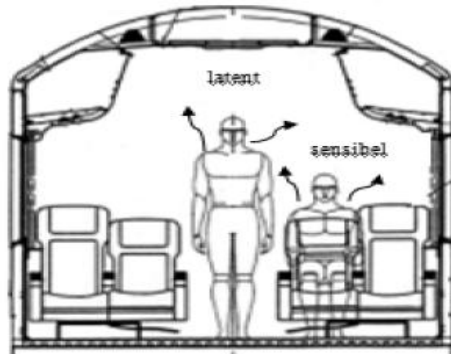
Dalam perhitungan beban pendingin pada ruang kereta Bangunkarta dibagi menjadi beban internal dan beban eksternal. Data pengukuran yang dibutuhkan untuk menghitung beban pendingin adalah nilai U (Transmisi termal), Luas atap, dinding, atap, jendela dan perbedaan suhu lingkungan dan suhu ruangan. Hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada Lampiran D. Berikut merupakan uraian singkat dari langkah – langkah perhitungan beban pendingin.

4.4.1. Beban Internal

Beban internal yang dihitung adalah beban penumpang, beban peralatan elektronik, dan beban pencahayaan.

- Penumpang

Kapasitas penumpang KA. Bangunkarta dalam satu kereta adalah 50 penumpang dan selama perjalanan dari Surabaya menuju Jakarta, jumlah penumpang hanya terisi setengah dari kursi yang tersedia yaitu 27 sampai 30 orang. Perhitungan beban penumpang ini dihitung selama perhentian di setiap Stasiun dan dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut :



Gambar 4.3. Sumber Panas Sensibel dan Laten dari Penumpang.

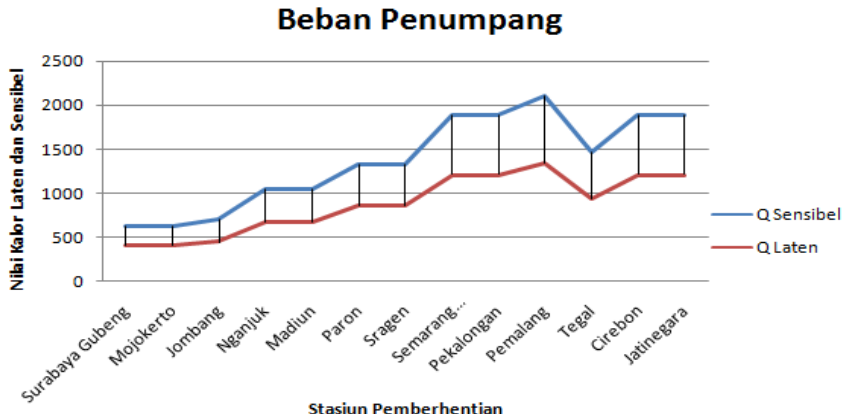
Sumber : (Nuraeni, Tanty; Krishna Putra, Ary Bachtiar 2010) dan (PT.Industri Kereta Api (INKA) 1999).

Manusia dalam melakukan aktifitas mengeluarkan panas sensibel dan laten. Dalam perhitungan beban penumpang dibutuhkan data kalor sensibel dan laten yang dikeluarkan oleh manusia. Berdasarkan penjelasan perhitungan beban pendingin dari ASHRAE 1997 kalor sensibel adalah 70 W dan kalor laten adalah 45 W dimana semua penumpang dikondisikan duduk santai seperti dalam ruang kantor atau hotel.

Tabel 4.16. Perhitungan Beban Penumpang Aktual

No	Stasiun	Waktu	Jumlah Penumpang	Q Sensibel	Q Laten
1	Surabaya Gubeng	14.00 WIB	9	630	405
2	Mojokerto	15.00 WIB	9	630	405
3	Jombang	15.24 WIB	10	700	450
4	Nganjuk	16.02 WIB	15	1050	675
5	Madiun	17.00 WIB	15	1050	675
6	Paron	17.30 WIB	19	1330	855
7	Sragen	18.00 WIB	19	1330	855
8	Semarang Tawang	20.30 WIB	27	1890	1215
9	Pekalongan	22.00 WIB	27	1890	1215
10	Pemalang	22.30 WIB	30	2100	1350
11	Tegal	22.54 WIB	21	1470	945
12	Cirebon	00.15 WIB	27	1890	1215
13	Jatinegara	03.55 WIB	27	1890	1215
Total Q Penumpang				17850	11475

Pada Tabel 4.16 yang merupakan beban penumpang akan diplot grafik pada Gambar 4.4 sebagai gambaran pergerakan beban pendingin dari hasil perhitungan.



Gambar 4.4. Grafik Perhitungan Beban Penumpang

- Peralatan Elektronik

Pada Kereta Bangunkarta terdapat peralatan elektronik dengan jumlah dan daya yang dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut. Yang termasuk kedalam perhitungan beban elektronik adalah TV, Speaker, Vidio distribusi dan *Charger Hp**. Lampu yang terpasang pada ruang dihitung pada beban pencahayaan.

Tabel 4.17. Peralatan Elektronik yang ada di KA.Bangunkarta

No	Item	Jumlah	Daya Satuan (W)	Daya Total (W)	Waktu Pemakaian (Jam)
1	TV merk SONY	2	80	160	10
2	Lampu Bordes	6	18	108	13
3	Lampu Ruangan	10	36	360	13

Tabel 4.17. Lanjutan Peralatan Elektronik yang ada di KA.Bangunkarta

No	Item	Jumlah	Daya Satuan (W)	Daya Total (W)	Waktu Pemakaian (Jam)
4	Lampu Bagasi	11	18	198	13
5	Lampu Kamar Mandi	2	18	36	13
6	Speaker	8	9	72	10
7	Vidio Distribusi	5	5	25	10
8	Charger HP*	10	25	250	2
9	AC 8 PK	2	3520	7040	13

Catatan : *) Asumsi terdapat penumpang yang sedang mengisi baterai *handphone*

Untuk menghitung beban peralatan menggunakan Persamaan 2.7. Diketahui dari Tabel 4.18, Televisi sebanyak 2 buah dengan daya 80 W/buah, Speaker 8 buah dengan daya 9 W/buah, video distribusi sebanyak 5 dengan daya terpasang 5 W/buah dan AC sentral sebanyak 2 buah dengan daya 3520 W/buah maka dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Peralatan elektronik} \times \text{daya yang terpasang} \\
 &= (2 \text{ buah} \times 80 \text{ W}) + (8 \text{ buah} \times 9 \text{ W}) + (5 \text{ buah} \times 5 \text{ W}) + (2 \\
 &\quad \text{buah} \times 3520 \text{ W}) \\
 &= 7297 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Pencahayaan

Pada Tabel 4.9 terdapat jenis lampu yang dipasang pada ruang kereta Bangunkarta dengan daya lampu yang berbeda. Maka beban pencahayaan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Lampu}} &= W \cdot F_{\text{ui}} \cdot F_{\text{sa}} \cdot (\text{CLF}) \\
 &= 3,4 \times (1,25 \times [(6 \text{ lampu} \times 18 \text{ W}) + (10 \\
 &\quad \text{lampu} \quad 36 \text{ W}) + (11 \text{ lampu} \times 18 \text{ W}) + (2 \\
 &\quad \text{Lampu} \times 18 \text{ W})] \\
 &= 2983,5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Total Beban Internal adalah beban penumpang ditambah beban peralatan ditambah beban pencahayaan. Sehingga beban internal dari perhitungan ini adalah 39.605,5 W.

4.4.2. Beban Eksternal

Beban eksternal yang dihitung adalah beban konduksi dari jendela, atap, dinding , beban radiasi yang melewati kaca, beban partisi dan ventilasi serta infiltrasi. Penjelasan dari perhitungan beban – beban eksternal tersebut adalah sebagai berikut :

- Beban Konduksi melalui Jendela

Diketahui (Contoh Perhitungan pada pukul 14.15 WIB)

$$U = 0,919 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 11,06 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{jendela}} = 19,82 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Luar}} = 26,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Berdasarkan persamaan (2.3) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{jendela}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= 0,911 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot 11,06 \text{ m}^2 \cdot (26,8 - 19,82)^\circ\text{C} \\
 &= 70,33 \text{ W}
 \end{aligned}$$

- Beban konduksi melalui Atap

Diketahui (Contoh Perhitungan pada pukul 14.15 WIB)

$$U = 0,412 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 47,86 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{Atap}} = 15,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Luar}} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan persamaan (2.3) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{\text{Atap}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 0,412 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot 47,86 \text{ m}^2 \cdot (26,8 - 15,8) ^\circ\text{C} \\ &= 216,90 \text{ W} \end{aligned}$$

- Beban Konduksi melalui Dinding
Diketahui (Contoh Perhitungan pada pukul 14.15 WIB)

$$U = 0,412 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 20,14 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{Dinding}} = 19,66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Luar}} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan persamaan (2.3) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{\text{Dinding}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 0,412 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot 20,14 \text{ m}^2 \cdot (26,8 - 19,66) ^\circ\text{C} \\ &= 59,24 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung Total Beban Pendingin dari Beban konduksi
Diketahui :

$$Q_{\text{Atap}} = 216,90 \text{ W}$$

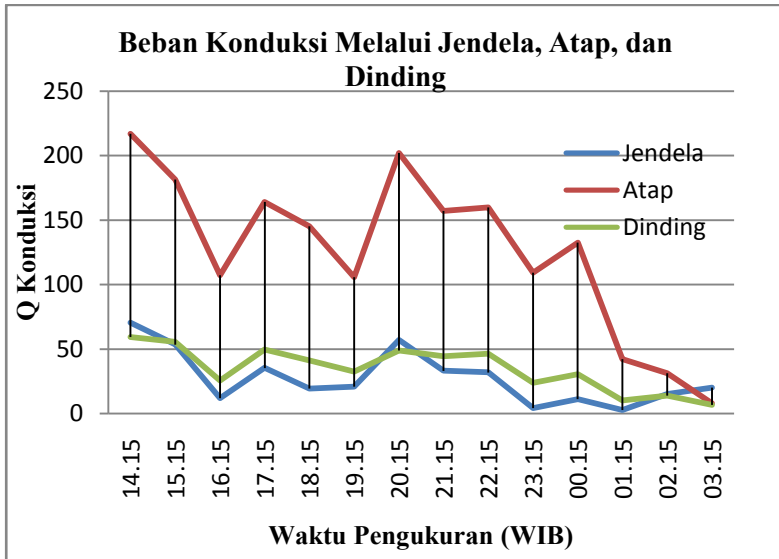
$$Q_{\text{Dinding}} = 59,24 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Jendela}} = 70,33 \text{ W}$$

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_{\text{konduksi}} &= Q_{\text{Atap}} + Q_{\text{Dinding}} + Q_{\text{Jendela}} \\ &= 346,47 \text{ W (Pukul 14.00 WIB)} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan Q konduksi yang melalui jendela, atap dan dinding, untuk lebih lengkap perhitungan setiap jam dapat dilihat pada Lampiran E. Pada Gambar 4.5 adalah grafik perubahan beban konduksi melalui jendela, atap dan dinding.



Gambar 4.5. Grafik Beban Konduksi melalui Jendela, Atap dan Dinding.

Beban puncak terjadi pada Pukul 14.15 WIB (kondisi awal) dan pukul 20.15 WIB. Hal ini dikarenakan kondisi awal kereta memasuki yang memasuki Stasiun Surabaya Gubeng dari Stasiun Surabaya Kota, Kondisi AC belum sepenuhnya mendinginkan ruangan, kondisi saat pengukuran adalah hujan maka selama perjalanan dari stasiun Surabaya Gubeng menuju Stasiun Mojokerto kondisi lingkungan hujan deras dan temperatur ruangan juga turun. Kemudian kereta menuju Semarang Tawang dan kondisi daerah tersebut cerah dan pada dini hari beban konduksi mengalami penurunan, hal ini karena beda temperatur ruang dan kereta pada pukul 00.15 WIB sampai dengan pukul 03.15 WIB adalah kecil. Beban konduksi atap memiliki nilai beban kalor yang besar dibandingkan jendela dan dinding.

- **Beban Partisi Lantai**

Diketahui (Contoh Perhitungan pada pukul 14.15 WIB)

$$U = 4,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 46,1 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{ruang}} = 18,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Luar}} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan persamaan (2.4) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{\text{lantai}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 4,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot 46,1 \text{ m}^2 \cdot (26,8 - 18,45) ^\circ\text{C} \\ &= 1647,5 \text{ W} \end{aligned}$$

- **Beban Radiasi Matahari terhadap Jendela**

Beban pendingin pada kaca terbagi atas dua sumber yaitu perbedaan temperatur dan radiasi matahari. Berikut adalah perhitungan beban radiasi kaca dengan menggunakan persamaan (2.2).

Diketahui Beban Radiasi Pukul 14.00 WIB:

$$A_{\text{Jendela}} = 11,06$$

$$SC = 0,57$$

$SCL_{14.00} = 0,14$ (Setiap Waktu berubah mengacu pada Tabel ASHRAE 1997)

$$\begin{aligned} Q_{\text{radiasi kaca}} &= A_{\text{Jendela}} \cdot (SC) \cdot (SCL) \\ &= 11,06 \text{ m}^2 \cdot (0,57) \cdot (0,14) \\ &= 0,81 \text{ W} \end{aligned}$$

Jadi, Total Radiasi Matahari melalui Jendela selama perjalanan kereta adalah 35,0153 W.

4.4.3. Ventilasi dan Infiltrasi

Beban ventilasi pada kereta penumpang berasal dari udara luar yang sengaja dimasukkan ke dalam ruang untuk menambah oksigen. Dalam persamaan (2.8), (2.9) dan (2.10) terdapat variabel entalpi dan rasio kelembapan yang didapatkan lewat *pyscometric chart*.

- Mengetahui Q_{sensibel} Ventilasi

Diketahui :

$$T_{\text{lingkungan}} = 26,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ruang}} = 18,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Volume Kereta} = 208,8 \text{ m}^3$$

$$\text{Ventilasi rate, } Q = 35 \text{ m}^3/\text{min (Tabel 2.1)}$$

$$= 583,33 \text{ liter/s}$$

$$Q_{\text{Sensibel}} = 1,23 (583,33) \cdot (26,8 - 18,45) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 5991,1 \text{ W}$$

- Mengetahui Q_{laten} Ventilasi

Diketahui :

$$W_{\text{lingkungan}} = 0,02185 \text{ /kg}$$

$$W_{\text{ruang}} = 0,01023 \text{ /kg}$$

$$\text{Ventilasi rate, } Q = 35 \text{ m}^3/\text{min (Tabel 2.1)}$$

$$= 583,33 \text{ liter/s}$$

$$Q_{\text{Laten}} = 3010 \cdot (583,33) \cdot (0,02185 - 0,01023)$$

$$= 20402,66 \text{ W}$$

- Mengetahui Q_{total} Ventilasi

Dengan menjumlahkan kalor sensibel dan kalor laten dari ventilasi atau menggunakan persamaan 2.10 dapat menentukan nilai Q_{total} . Persamaan 2.10 harus diketahui nilai entalpi ruang kereta dan entalpi lingkungan. Penjumlahan Q_{sensibel} dan Q_{laten} ventilasi harus sama dengan Q_{total} dengan menggunakan persamaan 2.10. Berikut penjelasan perhitungan Q_{total} dengan persamaan 2.10.

Diketahui :

$$h_{\text{lingkungan}} = 82,69 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{\text{ruang}} = 44,49 \text{ KJ/Kg}$$

$$\text{Ventilasi rate, } Q = 35 \text{ m}^3/\text{min (Tabel 2.1)}$$

$$= 583,33 \text{ liter/s}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 1,20 \cdot (583,33) \cdot (82,69 - 44,49)$$

$$= 26739,84 \text{ W}$$

4.4.4. Total Beban Pendingin Ruang Kereta

Total beban pendingin internal, eksternal dan ventilasi dapat dilihat pada Tabel 4.18. berikut ini

Tabel 4.18. Total Beban Pendingin

Beban Internal	Nilai
Penumpang	29325 W
Pencahayaan	2983,5 W
Peralatan Elektronik	7297 W
Total Beban Internal	39605,5 W
Beban Eksternal	Nilai
Beban Konduksi	3508,565 W
Beban Partisi	1647,5 W
Beban Radiasi Jendela	35,05135W
Ventilasi	196741 W
Total Beban Eksternal	201.932,12 W

Berdasarkan perhitungan nilai beban pendingin pada Tabel 4.18, didapat bahwa beban pendingin internal lebih kecil daripada beban pendingin eksternal (**201.932,12 W > 39605,5 W**). Pengaruh beban eksternal lebih besar dalam beban pendingin di ruang kereta.

4.5. Desain Kenyamanan Termal Ruang Kereta

Dalam penelitian ini akan dibuat simulasi CFD untuk membuat kondisi ruang kereta Bangunkarta berada dalam kondisi nyaman. Berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2 dari pengukuran temperatur dan kelembapan udara relatif ruang kereta Bangunkarta belum berada pada zona kenyamanan termal untuk SNI. Berikut langkah – langkah desain kenyamanan termal ruang kereta :

- Menentukan Kalor dari perhitungan OTTV aktual dan Beban Pendingin Internal maksimum.
- Dari hasil perhitungan kelembapan udara (RH) pada pukul 14.00 – 15.00 WIB, RH rata - rata sebesar 68 %

- Menentukan temperatur *dry bulb* dengan *psycometric chart* setelah mendapatkan kalor dan RH dari kondisi awal.
- Perhitungan ulang OTTV dan beban pendingin maksimum dijumlahkan untuk mendapatkan kalor perpindahan kedua sehingga didapat RH kedua untuk desain.
- Membuat simulasi CFD agar desain kenyamanan termal ruang kereta berada pada kondisi SNI yaitu 25°C dengan $\text{RH} = 65\%$.
- Temperatur yang dimasukkan kedalam simulasi CFD adalah 21°C untuk mencapai kondisi nyaman.

Kondisi awal kereta adalah kondisi sebelum AC ruang dinyalakan dan model kereta Bangunkarta aktual. Untuk mencari temperatur ruang kereta kondisi awal maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- $Q_{\text{OTTV_Aktual}} = 46,11 \text{ W/m}^2 \times \text{Luas Ruang Kereta}$
 $= 46,11 \text{ W/m}^2 \times 46,4 \text{ m}^2$
 $= 2139,504 \text{ W}$

Beban Pendingin Internal Maksimum

- $\text{Penumpang} = (Q_{\text{sensibel}} + Q_{\text{Laten}}) \times \text{Kapasitas Maksimum Penumpang}$
 $= (75 + 45) \times 50 \text{ Penumpang Dewasa}$
 $= 6000 \text{ W} \times 13 \text{ Jam Perjalanan}$
 $= 78.000 \text{ W}$
- $\text{Pencahayaannya} = 2983,5 \text{ W}$ (Tabel 4.19)
- $\text{Elektronik} = 7297 \text{ W}$ (Tabel 4.19)

Jadi, Q untuk pendingin/ AC adalah $Q_{\text{OTTV_Aktual}} + Q_{\text{beban internal}}$

$$Q_{\text{AC}} = 2139,504 + 78.000$$

$$Q_{\text{AC}} = 80.139,504 \text{ W}$$

$$Q_{\text{AC}} = 80 \text{ KW}$$

Pada Lampiran D *psycometric chart* akan didapat temperatur *dry bulb* sebesar 31°C . Pada perhitungan ulang OTTV desain, nilai OTTV yang diinginkan adalah 35 W/m^2 sehingga kondisi termal

desain yang diinginkan dapat dicari dengan cara yang sama sebagai berikut :

- $Q_{\text{OTTV_Aktual}} = 35 \text{ W/m}^2 \times \text{Luas Ruang Kereta}$
 $= 35 \text{ W/m}^2 \times 46,4 \text{ m}^2$
 $= 1624 \text{ W}$

Beban Pendingin Internal Maksimum

- Penumpang = $(Q_{\text{sensibel}} + Q_{\text{Laten}}) \times \text{Kapasitas Maksimum Penumpang}$
 $= (75 + 45) \times 50 \text{ Penumpang Dewasa}$
 $= 6000 \text{ W} \times 13 \text{ Jam Perjalanan}$
 $= 78.000 \text{ W}$
- Pencahayaan = 2983,5 W (Tabel 4.19)
- Elektronik = 7297 W (Tabel 4.19)

Jadi, Q untuk pendingin/ AC desain adalah $Q_{\text{OTTV_Aktual}} + Q_{\text{beban internal}}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{AC}} &= 1624 + 78.000 \\ Q_{\text{AC}} &= 79624 \text{ W} \\ Q_{\text{AC}} &= 79,62 \text{ KW} \end{aligned}$$

Ditetapkan nilai RH sebesar 72% dengan TdB sebesar 30 °C, dan kondisi ruang yang diinginkan adalah RH sebesar 65 % dengan TdB sebesar 25°C. Pada simulasi CFD akan diamati persebaran distribusi temperatur dalam ruang kereta untuk mencapai kondisi kenyamanan termal ruang yang diinginkan. RH sebesar 65% dengan TdB 25°C sudah termasuk dalam zona kenyamanan termal menurut SNI dengan kriteria Nyaman Optimal. Temperatur masukan di AC pada simulasi CFD diatur mulai 20°C agar tercapai kondisi ruang kereta yang diinginkan.

4.6. Hasil Simulasi CFD

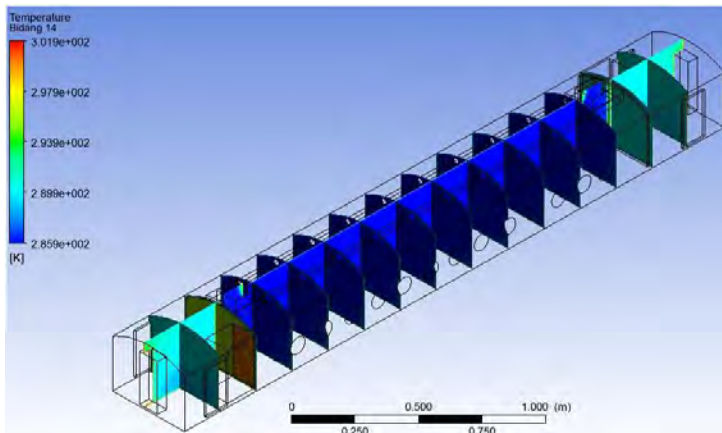
Hasil simulasi CFD berupa kontur pada distribusi temperatur ditampilkan dengan membagi bidang ruang kereta pada bidang XY sebanyak 14 bidang dan bidang YZ sebanyak 1 bidang yang dapat merepresentasikan kondisi temperatur dalam ruang kereta.

Pada simulasi ini dibuat 5 (lima) variasi desain utama kereta bangunkarta yaitu KA_1 merupakan kereta Bangunkarta dengan kondisi parameter dan variabel yang sama dengan asli. KA_2, KA_3, KA_4 dan KA_5 merupakan desain baru kereta dengan merubah letak AC dan ukuran jendela. Kelima desain tersebut akan diamati persebaran temperatur yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil distribusi temperatur untuk semua variasi adalah sebagai berikut :

4.6.1. Hasil Distribusi Temperatur pada Variasi Desain KA. Bangunkarta

- KA_1 (Kondisi seperti KA Bangunkarta Aktual)

Pada gambar 4.6 adalah kontur dari distribusi temperatur untuk simulasi kereta Bangunkarta yang sesuai dengan kondisi aktual. Pada variasi yang diberi nama KA_1 dilakukan variasi lain dengan memasukkan besaran fisis dan variabel pada kondisi sore dan malam hari.

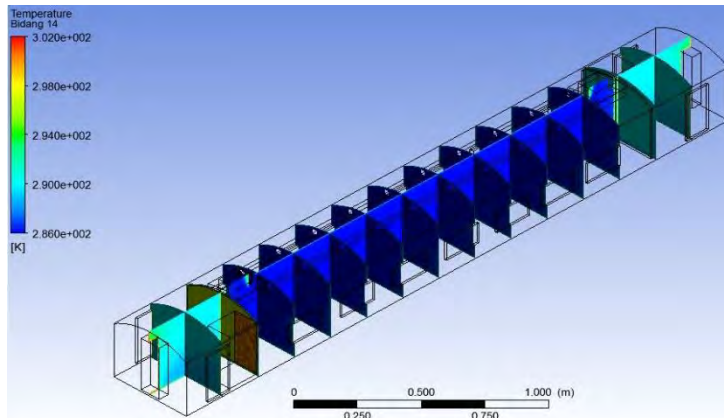


Gambar 4.6. Kontur Distribusi Temperatur KA_1
Pukul 14.00 WIB (Siang hari)

Temperatur minimum ruang kereta rata – rata pada siang hari adalah $20,94^{\circ}\text{C}$ ($293,94\text{ K}$), sedangkan kondisi maksimum temperatur berada pada $25,33^{\circ}\text{C}$ ($298,32\text{ K}$). Temperatur dari

Mass Flow Average dari Simulasi KA_1 adalah $21,25^{\circ}\text{C}$ ($294,25\text{K}$). Persebaran temperatur pada simulasi KA_1 merata pada semua bagian.

- KA_2 (Jendela Bulat dengan Letak AC di kedua Ujung Atas)
Simulasi utama kedua diberi nama KA_2 dengan letak AC ada dua yang terletak di kedua ujung atas dan jendela kereta yang diubah menjadi bulat. Pengkondisian simulasi ini sama dengan KA_1 diberikan kondisi waktu siang hari. Pada Gambar 4.7 adalah Kontur temperatur KA_2 pada pukul 14.00 WIB.

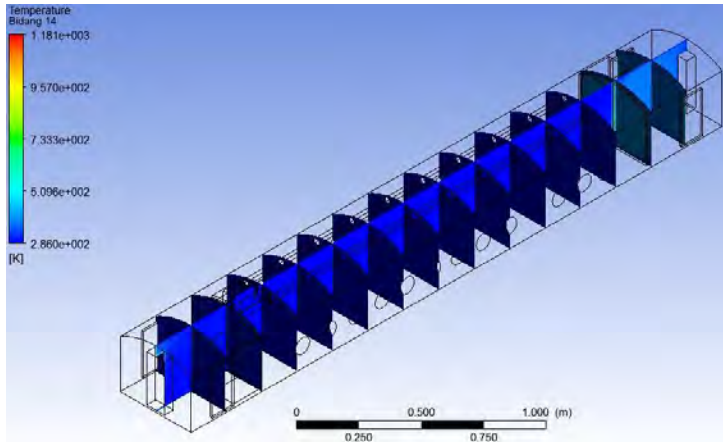


Gambar 4.7. Kontur Distribusi Temperatur KA_2 Pukul 14.00 WIB (Siang hari)

Distribusi temperatur ruang kereta pada bidang 3 sampai bidang 12 adalah sebagai berikut, temperatur rata-rata minimum KA_2 adalah $20,933^{\circ}\text{C}$ ($293,93\text{K}$) dan rata-rata temperatur maksimum adalah $25,81^{\circ}\text{C}$ ($298,81\text{K}$). Temperatur dari *Mass Flow Average* dari Simulasi KA_2 adalah $21,23^{\circ}\text{C}$ ($294,23\text{K}$).

- KA_3 (Jendela Bulat dengan satu AC yang diletakkan di ujung atas depan)

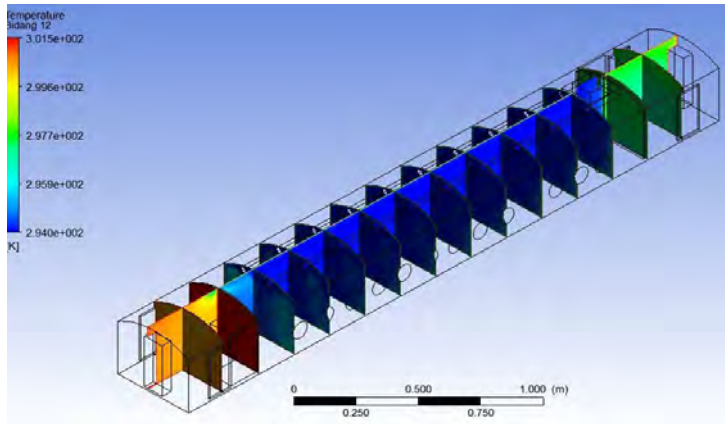
Pada gambar 4.8 adalah kontur distribusi temperatur pada simulasi KA_3. Temperatur minimum sebesar $20,933\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($293,933\text{ K}$) dan temperatur maksimum sebesar $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ (299 K). Temperatur dari *Mass Flow Average* dari Simulasi KA_3 adalah $21,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($294,31\text{K}$).



Gambar 4.8. Kontur Distribusi Temperatur KA_3
Pukul 14.00 WIB (Siang hari)

- KA_4 (Jendela Bulat dengan satu buah AC yang diletakkan di ujung atas belakang kereta)

Simulasi KA_4 sama dengan simulasi KA_3 dimana hanya letak AC yang dipindah posisinya. Hasil kontur distribusi temperatur pada simulasi KA_4 dapat dilihat pada Gambar 4.9. berikut ini.

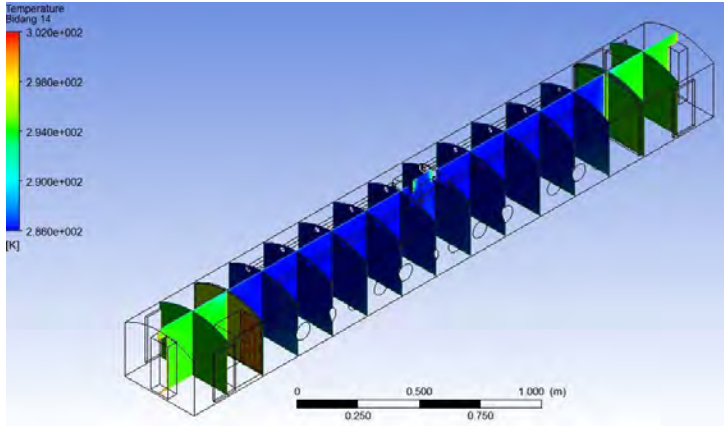


Gambar 4.9. Kontur Distribusi Temperatur KA_4
Pukul 14.00 WIB (Siang hari)

Temperatur rata – rata minimum untuk KA_4 adalah $20,96^{\circ}\text{C}$ ($293,96\text{ K}$) dan temperatur rata – rata maksimum adalah $25,11^{\circ}\text{C}$ ($298,11\text{ K}$). Temperatur dari *Mass Flow Average* dari Simulasi KA_ adalah $21,36^{\circ}\text{C}$ ($294,36\text{K}$).

- KA_5 (Jendela Bulat dengan Satu AC yang diletakkan ditengah atas kereta).

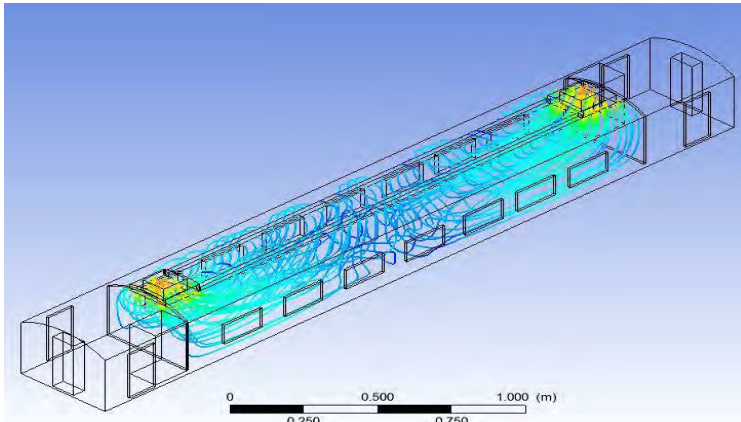
Pada Gambar 4.10 adalah kontur distribusi temperatur pada simulasi KA_5. Temperatur rata – rata minimum dari KA_5 adalah $20,99^{\circ}\text{C}$ ($293,99\text{ K}$) dan temperatur rata – rata maksimum sebesar $25,21^{\circ}\text{C}$ ($298,21\text{ K}$). Temperatur dari *Mass Flow Average* dari Simulasi KA_5 adalah $21,45^{\circ}\text{C}$ ($294,45\text{K}$).



Gambar 4.10. Kontur Distribusi Temperatur KA_5 Pukul 14.00 WIB (Siang hari)

4.6.2 Hasil Distribusi Aliran Udara (*Streamline*) Desain KA. Bangunkarta.

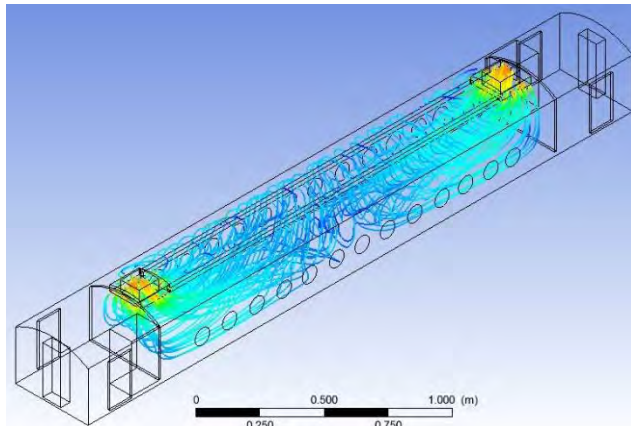
Distribusi aliran udara yang telah disimulasikan menggunakan simulasi CFD. Menunjukkan hasil *streamline* untuk semua variasi kereta yang telah dibuat sehingga dapat mengetahui aliran udara yang ada dalam ruang kereta.



Gambar 4.11. *Streamline* aliran udara KA_1

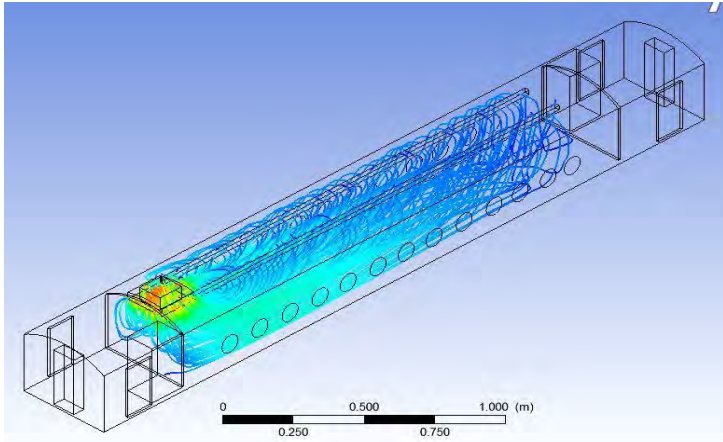
Berdasarkan Gambar 4.11, menunjukkan *streamline* dari hasil simulasi CFD merata pada semua bidang dalam ruang kereta. Udara masuk melalui *ducting* dan keluar menuju AC *Exhaust* dengan kondisi ruang kereta adalah *wall*.

Selanjutnya adalah *streamline* pada Gambar 4.12 yaitu simulasi KA_2 dimana desain kereta dibuat jendela bulat dengan dua AC yang diletakkan diatas kedua ujung atas. Persebaran aliran udara pada KA_2 sangat merata seperti desain aktual kereta Bangunkarta (KA_1) tetapi alirannya tidak mengenai bagian depan dan belakang pada KA_2 bagian bordes.



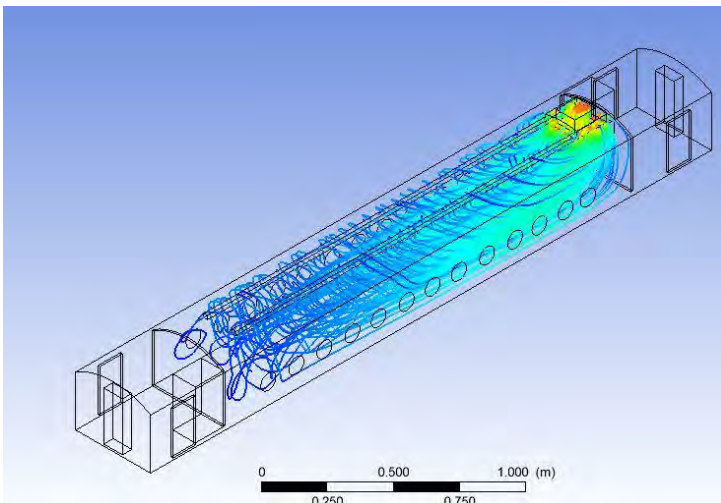
Gambar 4.12. *Streamline* aliran udara KA_2

Berikutnya adalah gambar 4.13 yaitu desain KA_3 dengan jendela bulat dan letak AC satu pada ujung atas depan kereta. Pada simulasi ini akan menunjukkan hasil *streamline* dengan menggunakan satu buah AC *blower/ exhaust* pada geometri modelnya



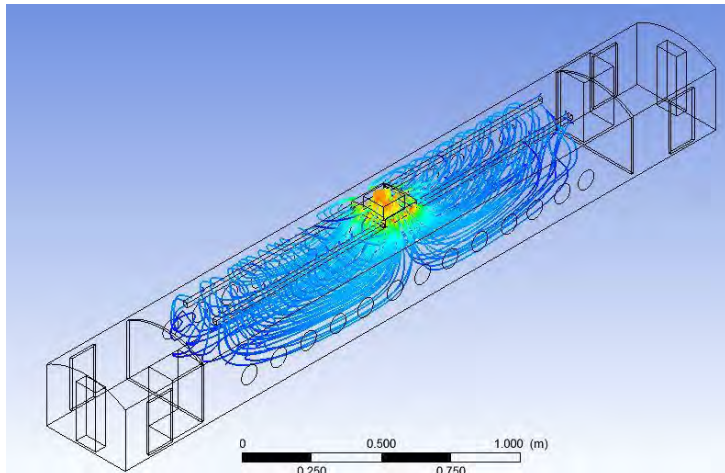
Gambar 4.13. *Streamline* aliran udara KA_3

Selanjutnya adalah desain KA_4 yaitu jendela bulat dengan letak AC yang terdapat pada ujung atas belakang.



Gambar 4.14. *Streamline* aliran udara KA_4

Hasil *streamline* pada desain KA_4 sama dengan KA_3 yaitu tidak menyebar merata, aliran udara dalam kereta pada bagian depan tidak terlewati aliran udara. Bagian belakang bordes terkena aliran udara. Terakhir adalah KA_5 dengan jendela bulat dan letak AC yang dipasang ditengah, hasil *streamline* dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15. *Streamline* aliran udara KA_5

Persebaran udara dalam ruang pada Gambar 4.15 merata pada bagian ruang kereta. Aliran udara yang mengalir dalam ruang kereta menyebar merata dalam ruang kereta karena udara akan menuju AC *blower* di bagian tengah dan distribusi temperatur juga merata pada bagian ruang kereta tersebut.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

- Sistem Pengkondisian Udara pada Kereta Eksekutif Bangunkarta adalah AC Paket, dimana udara dingin yang keluar dari evaporator akan dialirkan ke ruangan menuju *ducting* atau saluran udara yang letaknya diatas Bagasi penumpang kereta.
- Nilai OTTV pada kondisi aktual sangat tinggi pada bagian dinding kanan pukul 14.00 WIB sebesar $75,05 \text{ W/m}^2$ dan OTTV total adalah $46,11 \text{ W/m}^2$, dimana standar OTTV pada selubung bangunan menurut SNI 2000 adalah 45 W/m^2 .
- Nilai OTTV untuk kondisi desain KA. Bangunkarta yang baru dengan merubah luasan jendela (jendela pesawat) dan luasan dinding sehingga nilai WWR pada desain KA yang baru lebih kecil yaitu WWR sebesar 0,253 dari sebelumnya 0,549.
- Perhitungan beban pendingin yang telah dilakukan menunjukkan bahwa beban eksternal sebesar 201.932,12 W yang meliputi beban konduksi, beban partisi lantai dan ventilasi. Sedangkan beban internal sebesar 39605,5 W yang meliputi beban penumpang, beban pencahayaan dan beban peralatan listrik.
- Hasil simulasi CFD menunjukkan Kontur Distribusi Temperatur yang baik adalah desain KA_2 (Jendela Bulat dengan dua AC yang letaknya di kedua ujung KA) dengan temperatur rata – rata minimum KA_2 adalah $20,933 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($293,93 \text{ K}$) dan rata – rata temperatur maksimum adalah $25,81 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($298,81 \text{ K}$). Temperatur dari *Mass Flow Average* dari Simulasi KA_2 adalah $21,23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($294,23\text{K}$). Kemudian Simulasi KA_5 dengan persebaran temperatur yang merata pada bagian tengah ruang penumpang dengan Temperatur rata – rata minimum adalah $20,99 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($293,99 \text{ K}$) dan temperatur rata – rata maksimum sebesar $25,21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($298,21 \text{ K}$). Temperatur dari *Mass Flow Average* dari Simulasi KA_5 adalah $21,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($294,45\text{K}$).

5.2. Saran

Adapun setelah melakukan penelitian tugas akhir ini dapat diberikan saran berupa analisis tekanan udara yang ada di dalam kereta karena dalam pengukuran temperatur dan kelembapan udara relatif, tekanan udara dianggap $1 \text{ atm} = 10^5$ Pascal. Membuat model geometri yang lain untuk simulasi CFD, Agar kondisi ruang kereta menjadi lebih nyaman dan distribusi udara dan temperatur semakin merata.

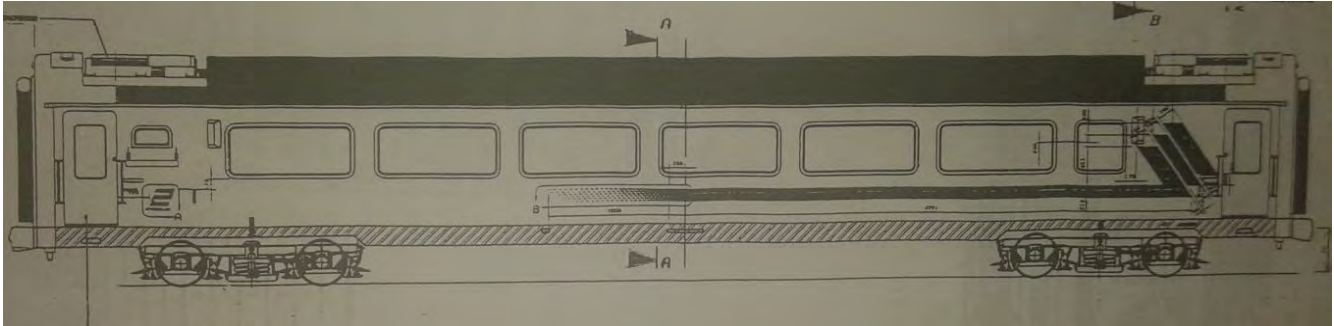
LAMPIRAN A : SPESIFIKASI KERETA BANGUNKARTA

Tabel A.1. Data Teknis KA. Bagunkarta

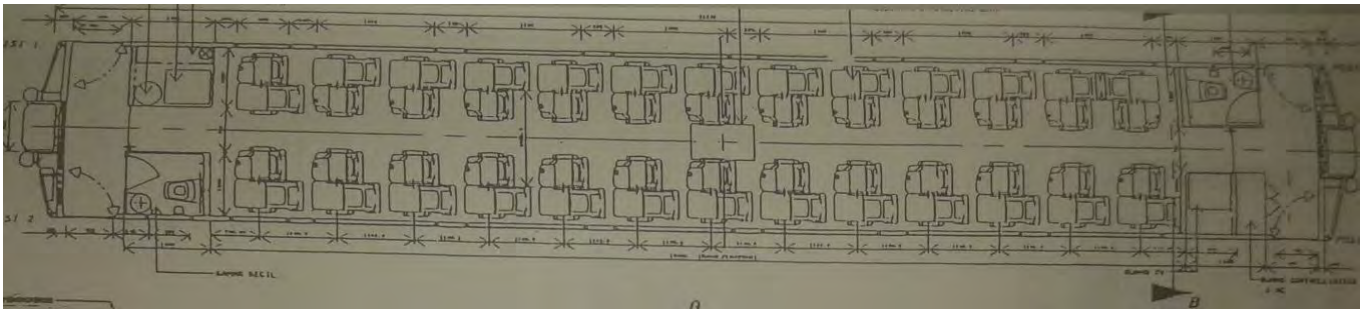
No	Parameter	Keterangan
1	Tahun pembuatan	2009
2	Kecepatan maksimum	100 km / jam
3	Lebar sepur	1.067 mm
4	Beban gandar	14 ton
5	Panjang kereta	20.000 mm
6	Lebar kereta	2.990 mm
7	Tinggi kereta	3.610 mm
8	Jarak antar pusat bogie	14.000 mm
9	Tinggi pusat alat perangkai dari atas rel	775 ^{+10/-0} mm
10	Berat kosong maksimum	36 ton
11	Badan kereta	Monocouqe, Mild steel
12	Sistem Kelistrikan	380 Volt, 3 fasa

Tabel A.1. Lanjutan Data Teknis KA. Bagunkarta

No	Parameter	Keterangan
13	Bogie	NT 60
14	Sistem Pengereman	UIC 540, Air brake
15	Alat Perangkai	Automatic coupler, AAR NO. 10A Contour.
16	Sistem Listrik	380VAC, 3-phase, 50Hz, dengan LBS



Gambar A.1. Tampak Samping KA. Bangunkarta



Gambar A.2. Tampak Ruang KA. Bangunkarta dari Atas

Tabel A.2. Spesifikasi dan Ukuran Bagian – Bagian Lain dari KA. Bangunkarta.

No	Item	Ukuran	Tebal	Jumlah
1	Jendela Ruang	181 x 81 cm	10 mm	7
2	<i>Ducting</i>	115 x 15 cm	-	11
3	Pintu Dalam	186 x 76 cm	15 cm	2
4	Pintu Luar	190 x 81	15 cm	4

Tabel A.3. Material Kereta Bangunkarta dengan Perhitungan Nilai U

No	Bagian	Bahan	Konduktivitas Termal, K (W/m.C)	Tebal (m)	Luas Permukaan, A (m ²)	R (m ² .C/W)	R Total (m ² .C/W)	U (W/m ² .°C)
1	Dinding Luar	a. Plat baja	47,6	0,0023	20,94	2,31E-06	0,11568	0,4128
		b. Celah Udara	0,0242	0,03	20,94	0,059		
		c. <i>Rockwool</i>	0,045	0,05	20,94	0,0531		
		d. <i>Fiber Glass</i>	0,04	0,003	20,94	0,00358		
2	Atap	a. Plat baja	47,6	0,0023	47,86	1,E-06	0,05068	0,41223
		b. Celah Udara	0,0242	0,03	47,86	0,02590		
		c. <i>Rockwool</i>	0,045	0,05	47,86	0,02321		
		d. <i>Fiber Glass</i>	0,04	0,003	47,86	0,00156		

Tabel A.3. Lanjutan Material Kereta Bangunkarta dengan Perhitungan Nilai U

No	Bagian	Bahan	Konduktivitas Termal, K (W/m.C)	Tebal (m)	Luas Permukaan, A (m ²)	R (m ² .C/W)	R Total (m ² .C/W)	U (W/m ² . ⁰ C)
3	Jendela	a. <i>Double Glass</i>	0,96	0,01	10,26	0,10687	0,10687	0,9119
		b. Laminasi ganda (<i>duplex</i>) 60% <i>Light grey</i> (13 buah)						
4	Lantai	a. <i>Lenoleum</i>	0,17	0,005	46,1	0,00063	0,00506	4,2866
		b. <i>Plywood</i>	0,13	0,02	46,1	0,00333		
		c. Semen	0,16	0,008	46,1	0,00108		
		d. Plat baja bergelombang	47,6	0,0012	46,1	5,46E-07		

Tabel A.3. Lanjutan Material Kereta Bangunkarta dengan Perhitungan Nilai U

No	Bagian	Bahan	Konduktivitas Termal, K (W/m.C)	Tebal (m)	Luas Permukaan, A (m ²)	R (m ² .C/W)	R Total (m ² .C/W)	U (W/m ² . ⁰ C)
5	Pintu Gang (2 pintu)	a. Plat Aluminiu m	160	0,0016	2,8	3,57E-06	0,36896	0,9679
		b. Celah Udara	0,0242	0,025	2,8	0,3689		
		c. Plat Baja	47,6	0,0012	2,8	9,E-06		
6	Kaca Pintu Gang (2 Kaca)	Kaca	0,96	0,005	0,8	0,00416	0,00416	300
7	Dinding Sekat Kamar Mandi	a. <i>Fiber glass</i>	0,04	0,003	3,4	0,022	0,38732	0,75934
		b. Celah Udara	0,0242	0,03	3,4	0,3646		
		c. <i>Rockwool</i>	0,045	0,05	3,4	0,00066		

Tabel A.3. Lanjutan Material Kereta Bangunkarta dengan Perhitungan Nilai U

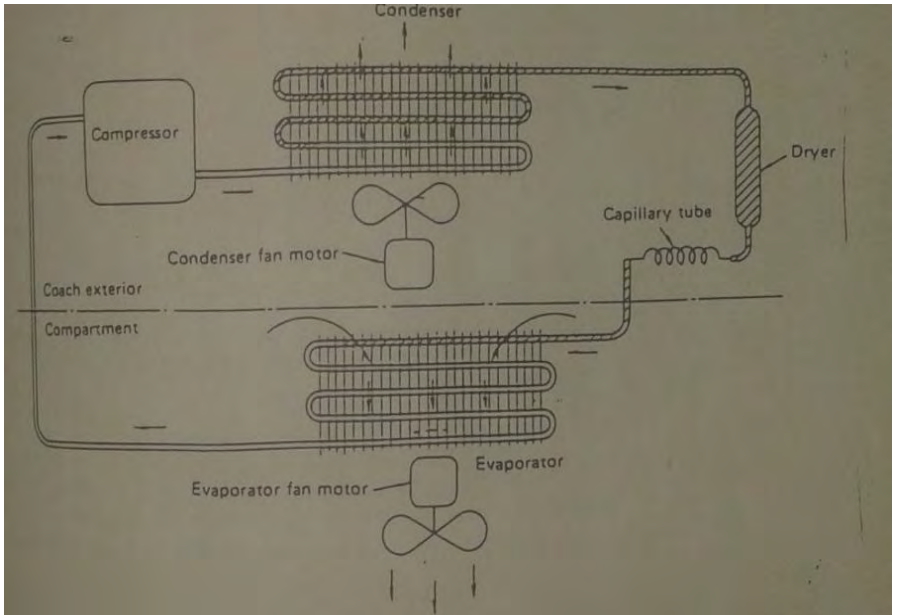
No	Bagian	Bahan	Konduktivitas Termal, K (W/m.C)	Tebal (m)	Luas Permukaan, A (m ²)	R (m ² .C/W)	R Total (m ² .C/W)	U (W/m ² .°C)
8	Dinding Depan	a. Plat Baja	47,6	0,0023	7,97	6,1E-06	0,30566	0,41048
		b. Celah Udara	0,024	0,03	7,97	0,1568		
		c. <i>Rockwool</i>	0,045	0,05	7,97	0,13941		
		d. <i>Fiber Glass</i>	0,04	0,003	7,97	0,00941		

LAMPIRAN B
SPESIFIKASI PENDINGIN RUANGAN (AC) KA.
BANGUNKARTA

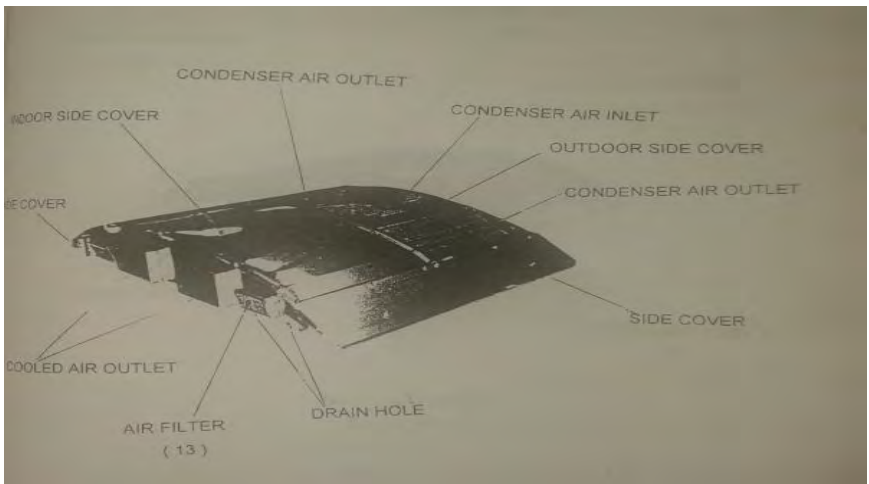
Kereta Penumpang K1 menggunakan 2 jenis AC yaitu ujung I adalah tipe RPU 6014 V Toshiba sedangkan pada Ujung II tipe KL 5C Konvekta.

Tabel B.1. Spesifikasi AC KA. Bangunkarta

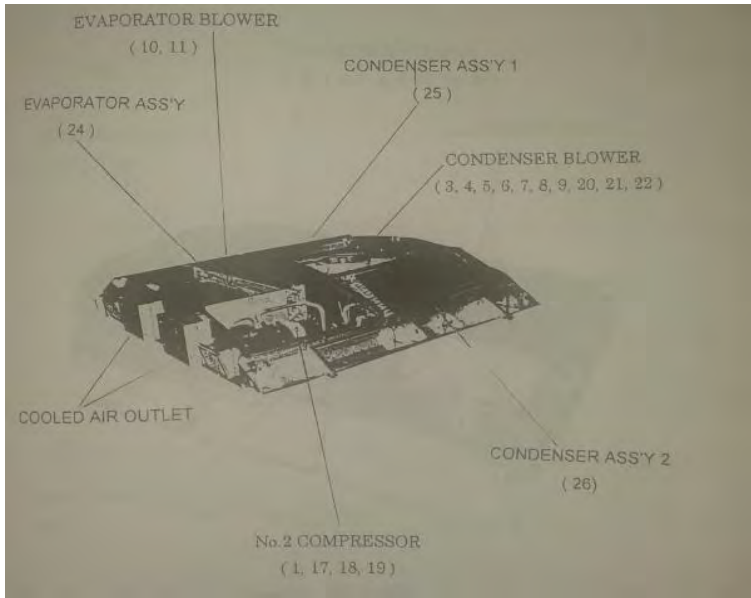
No	Komponen	Keterangan
1	<i>Power source</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Power Circuit</i> • <i>Control Circuit</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Phase,380 V,50 Hz • Single phase, 220 V 50Hz
2	<i>Circulation air delivery</i>	35 m ³ /min
3	<i>Cooling capacity</i>	15000 Kcal/h
4	<i>Air condition</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Indoor</i> • <i>Outdoor</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • DB 26⁰C, RH 65% • DB 35⁰C
5	<i>Standar input power</i>	7,5 kW
6	<i>Standard input current</i>	16 A
7	<i>Refrigerant</i>	R-22 (CHCIF)
8	<i>Refrigerant volume</i>	1,8 kg ± 50 g/cycle
9	<i>Capillary tube</i>	<i>Outer dia. 2.85 x inner dia.1.7 x length 800 mm x 3 sets/cycle</i>
10	<i>Weight</i>	320 kg
11	<i>Dimensions</i>	<i>Length : 1660 mm Width : 1850 mm Heigth : 393 mm</i>
12	<i>High and low pressure switch</i>	<i>Automatically returned type</i>
13	<i>Automatic temperature controller</i>	<i>Fixed around return air inlet</i>
14	<i>Cable connector</i>	<i>Type JA CANNON CONNECTOR</i>



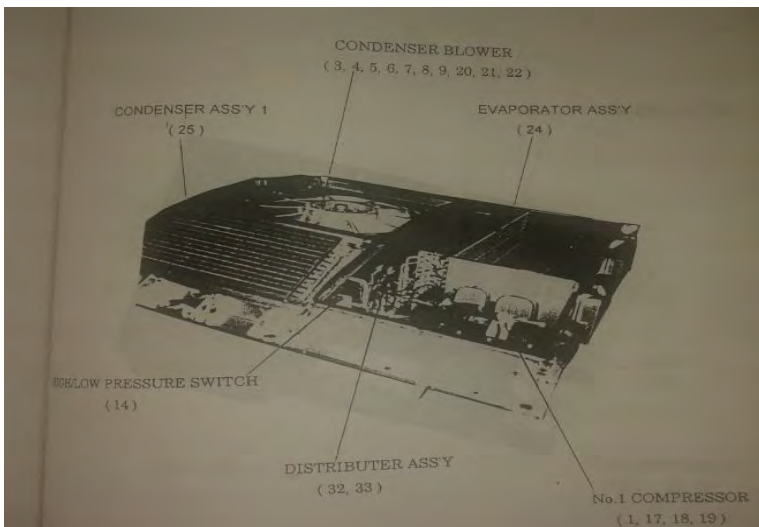
Gambar B.1. Siklus *Refrigerant* pada AC Sentral KA. Bangunkarta.



Gambar B.2. Tampak Luar AC Sentral KA. Bangunkarta.



Gambar B.3. Bagian –Bagian AC Sentral KA. Bangunkarta-1



Gambar B.4. Bagian – Bagian AC Sentral KA. Bangunkarta-2

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN NILAI OTTV AKTUAL RUANG KERETA BANGUNKARTA

PUKUL 14.00 WIB

Bordes Utara : 239 SW

Bordes Selatan : 57 NE

Dinding Kanan : 147 NW

Dinding Kiri : 327 SE

Tabel C.1. Perhitungan OTTV Aktual KA. Bangunkarta Pukul 14.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U	A Fenestrasi	Ai	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	20,14	11,06	0,54	0,412	14,36	34,5	75,05	46,11
2	Dinding Kiri	20,14	11,06	0,54	0,412	14,36	34,5	44,06	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 15.00 WIB

Bordes Utara : 261 W

Bordes Selatan : 78 E

Dinding Kanan : 351 N

Dinding Kiri : 68 S

Tabel C.2. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 15.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² .°C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	20,14	11,06	0,54	0,412	14,36	34,5	49,69	34,61
2	Dinding Kiri	20,14	11,06	0,54	0,412	14,36	34,5	39,36	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 16.00 WIB

Bordes Utara : 227 SW

Bordes Selatan : 46 NE

Dinding Kanan : 316 NW

Dinding Kiri : 137 SE

Tabel C.3. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 16.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² . ⁰ C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	20,14	11,06	0,54	0,412	14,36	34,5	75,05	46,11
2	Dinding Kiri	20,14	11,06	0,549	0,412	14,36	34,5	44,06	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 17.00 WIB

Bordes Utara : 256 W

Bordes Selatan : 69 E

Dinding Kanan : 345 N

Dinding Kiri : 166 S

Tabel C.4. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 17.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² . ⁰ C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	20,14	11,06	0,549	0,412	14,36	34,5	49,69	34,61
2	Dinding Kiri	20,14	11,06	0,549	0,412	14,36	34,5	39,36	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 18.00 WIB

Bordes Utara : 270 W

Bordes Selatan : 87 E

Dinding Kanan : 354 N

Dinding Kiri : 177 S

Tabel C.5. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 18.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² . ⁰ C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	20,14	11,06	0,549	0,412	14,36	34,5	49,69	34,61
2	Dinding Kiri	20,14	11,06	0,549	0,412	14,36	34,5	39,36	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PERHITUNGAN NILAI OTTV DESAIN RUANG KERETA BANGUNKARTA

PUKUL 14.00 WIB

Bordes Utara : 239 SW

Bordes Selatan : 57 NE

Dinding Kanan : 147 NW

Dinding Kiri : 327 SE

Tabel C.6. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 14.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² .°C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	32,20	22,01
2	Dinding Kiri	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	21,58	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 15.00 WIB

Bordes Utara : 261 W

Bordes Selatan : 78 E

Dinding Kanan : 351 N

Dinding Kiri : 68 S

Tabel C.7. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 15.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² .°C)	A Fenestrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	20,52	22,851
2	Dinding Kiri	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	35,344	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 16.00 WIB

Bordes Utara : 227 SW

Bordes Selatan : 46 NE

Dinding Kanan : 316 NW

Dinding Kiri : 137 SE

Tabel C.8. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 16.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² . ⁰ C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	32,20	22,01
2	Dinding Kiri	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	21,58	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 17.00 WIB

Bordes Utara : 256 W

Bordes Selatan : 69 E

Dinding Kanan : 345 N

Dinding Kiri : 166 S

Tabel C.9. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 17.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² . ⁰ C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	20,52	22,85
2	Dinding Kiri	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	35,34	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

PUKUL 18.00 WIB

Bordes Utara : 270 W

Bordes Selatan : 87 E

Dinding Kanan : 354 N

Dinding Kiri : 177 S

Tabel C.10. Perhitungan OTTV Aktual Pukul 18.00 WIB

No	Bagian Kereta	Luas Dinding (m ²)	Luas Jendela (m ²)	WWR	U (W/m ² .°C)	A Fenetrasi (m ²)	Ai (m ²)	OTTV	OTTV Total
1	Dinding Kanan	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	20,52	22,85
2	Dinding Kiri	24,26	6,14	0,253	0,412	18,48	42,74	35,344	
3	Bordes Utara	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	
4	Bordes Selatan	7,79	0	0	0,41	2,81	10,6	2,35	

LAMPIRAN D
VARIABEL PYSCOMETRIK CHART DARI HASIL PENGUKURAN RUANG KERETA

Tabel D.1. Rata - Rata Pengukuran Pukul 14.00 WIB - 15. 00 WIB

Titik Pengukuran	TdB (Celsius)	RH (%)	TwB (Celsius)	<i>h</i> (KJ/Kg)	<i>x</i> (Kg.Moist/Kg dry)	<i>v</i> (m³/Kg)	AV (m³/min)	<i>m</i> (Kg/min)
Titik 1	18,65	68,12	14,78	41,27	0,00898	0,8379	35	41,77359
Titik 2	18,4	67,7	14,73	41,13	0,00892	0,8378	35	41,77708
Titik 3	17,7	68,41	14,18	39,66	0,00862	0,8354	35	41,8976
Titik 4	17,95	68,1	14,37	40,16	0,00872	0,8362	35	41,85501
Titik 5	18,4	68,53	14,83	41,41	0,00903	0,8379	35	41,7701

Tabel D.2. Rata - Rata Pengukuran Pukul 16.00 WIB - 18. 00 WIB

Titik Pengukuran	TdB (Celsius)	RH (%)	TwB (Celsius)	<i>h</i> (KJ/Kg)	<i>x</i> (Kg.Moist/Kg dry)	<i>v</i> (m³/Kg)	AV (m³/min)	<i>m</i> (Kg/min)
Titik 1	18,5	72,45	15,39	42,99	0,00962	0,839	35	41,71683
Titik 2	18,2	78,56	15,83	44,28	0,01025	0,839	35	41,71832
Titik 3	17,86	72,45	14,81	41,37	0,00923	0,8366	35	41,834
Titik 4	17,7	74,82	14,93	41,74	0,00944	0,8365	35	41,84301
Titik 5	17,33	73,88	14,48	40,49	0,00911	0,8349	35	41,91918

Tabel D.3. Rata - Rata Pengukuran Pukul 19.00 WIB - 21. 00 WIB

Titik Pengukuran	TdB (Celsius)	RH (%)	TwB (Celsius)	<i>h</i> (KJ/Kg)	<i>x</i> (Kg.Moist/ Kg dry)	<i>v</i> (m³/Kg)	AV (m³/min)	<i>m</i> (Kg/min)
Titik 1	20,33	77,13	17,64	49,67	0,01151	0,8468	35	41,33305
Titik 2	19,4	76,81	16,74	46,94	0,01081	0,8432	35	41,51051
Titik 3	19,2	70,76	15,82	44,22	0,00982	0,8413	35	41,60377
Titik 4	18,76	71,05	15,46	43,18	0,00959	0,8397	35	41,68155
Titik 5	18,33	72,34	15,22	42,53	0,0095	0,8383	35	41,74917

Tabel D.4. Rata - Rata Pengukuran Pukul 22.00 WIB - 00. 00 WIB

Titik Pengukuran	TdB (Celsius)	RH (%)	TwB (Celsius)	<i>h</i> (KJ/Kg)	<i>x</i> (Kg.Moist/ Kg dry)	<i>v</i> (m³/Kg)	AV (m³/min)	<i>m</i> (Kg/min)
Titik 1	19,43	76,24	16,7	46,81	0,01075	0,8432	35	41,51002
Titik 2	19,2	75,86	16,44	46,04	0,01054	0,8422	35	41,55634
Titik 3	18	76,24	15,38	42,97	0,00981	0,8378	35	41,77558
Titik 4	17,73	75,56	14,68	41,03	0,00932	0,8352	35	41,90513
Titik 5	17,33	75,72	14,69	41,08	0,00934	0,8353	35	41,90362

Tabel D.5. Rata - Rata Pengukuran Pukul 01.00 WIB - 03. 00 WIB

Titik Pengukuran	TdB (Celsius)	RH (%)	TwB (Celsius)	<i>h</i> (KJ/Kg)	<i>x</i> (Kg.Moist/ Kg dry)	<i>v</i> (m³/Kg)	AV (m³/min)	in (Kg/min)
Titik 1	24,07	87,98	22,57	66,53	0,01662	0,8645	35	40,4863
Titik 2	23,73	87,38	22,16	65,01	0,01616	0,8629	35	40,56184
Titik 3	23,4	87,98	21,92	64,12	0,01595	0,8616	35	40,62068
Titik 4	23,53	88	22,05	64,59	0,01608	0,8622	35	40,5943
Titik 5	23,67	89,81	22,42	65,96	0,01656	0,8633	35	40,54445

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

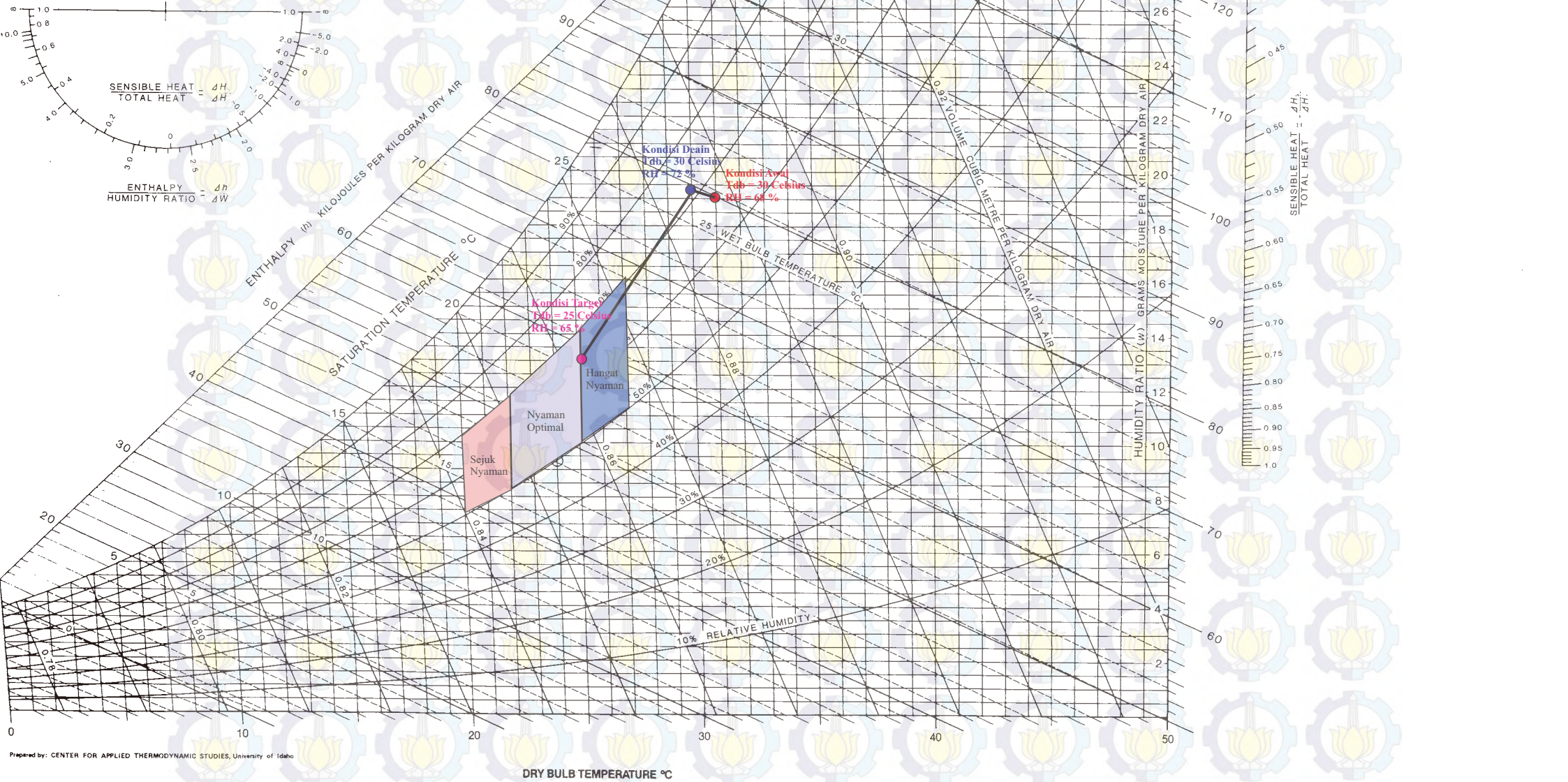
NORMAL TEMPERATURE SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa.



COPYRIGHT 1981

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



Prepared by: CENTER FOR APPLIED THERMODYNAMIC STUDIES, University of Idaho

DRY BULB TEMPERATURE °C

Chart 1b

LAMPIRAN E
PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN RUANG KA.BANGUNKARTA

Beban Eksternal

Tabel E.1. Beban Konduksi Melalui Jendela

No	Waktu (WIB)	U Jendela (W/m ² . ⁰ C)	T _{Linkungan} (⁰ C)	T _{jendela} (⁰ C)	ΔT (⁰ C)	A (m ²)	Q Konduksi Jendela (W)
1	14.15	0,911	26,8	19,82	6,98	11,06	70,3281068
2	15.15	0,911	25	19,7	5,3	11,06	53,400998
3	16.15	0,911	22,4	21,22	1,18	11,06	11,8892788
4	17.15	0,911	24,4	20,9	3,5	11,06	35,26481
5	18.15	0,911	23,4	21,48	1,92	11,06	19,3452672
6	19.15	0,911	23,2	21,14	2,06	11,06	20,7558596
7	20.15	0,911	25	19,36	5,64	11,06	56,8267224
8	21.15	0,911	24	20,72	3,28	11,06	33,0481648
9	22.15	0,911	23,7	20,54	3,16	11,06	31,8390856
10	23.15	0,911	21,3	20,88	0,42	11,06	4,2317772
11	00.15	0,911	22,4	21,3	1,1	11,06	11,083226

Tabel E.1. Lanjutan Beban Konduksi Melalui Jendela

No	Waktu (WIB)	U Jendela ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	$T_{\text{Lingkungan}}$ ($^\circ\text{C}$)	T_{ruang} ($^\circ\text{C}$)	ΔT ($^\circ\text{C}$)	A (m^2)	Q Konduksi Jendela (W)
12	01.15	0,911	23,5	23,24	0,26	11,06	2,6196716
13	02.15	0,911	25,5	24	1,5	11,06	15,11349
14	03.15	0,911	26	24,02	1,98	11,06	19,9498068
Total Q Jendela							385,696265

Keterangan :

- Total Beban Konduksi Melalui Jendela adalah $385,696265 \times 2$ (dinding kiri & kanan) = 771,3925 W
- Total Beban Konduksi Melalui Dinding adalah $487,571677 \times 2$ (dinding kiri & kanan) = 975,143 W
- Total Beban Konduksi Melalui Atap adalah 1762,02908 W

Tabel E.2. Beban Konduksi Melalui Atap

No	Waktu (WIB)	U Atap (W/m ² .°C)	T Lingkungan (°C)	T atap (°C)	ΔT (°C)	A (m ²)	Q Konduksi Atap (W)
1	14.15	0,412	26,8	15,8	11	47,86	216,90152
2	15.15	0,412	25	15,8	9,2	47,86	181,408544
3	16.15	0,412	22,4	16,96	5,44	47,86	107,267661
4	17.15	0,412	24,4	16,08	8,32	47,86	164,056422
5	18.15	0,412	23,4	16,04	7,36	47,86	145,126835
6	19.15	0,412	23,2	17,84	5,36	47,86	105,690195
7	20.15	0,412	25	14,76	10,24	47,86	201,915597
8	21.15	0,412	24	16,04	7,96	47,86	156,957827
9	22.15	0,412	23,7	15,6	8,1	47,86	159,718392
10	23.15	0,412	21,3	15,76	5,54	47,86	109,239493
11	00.15	0,412	22,4	15,68	6,72	47,86	132,50711
12	01.15	0,412	23,5	21,36	2,14	47,86	42,1972048
13	02.15	0,412	25,5	23,92	1,58	47,86	31,1549456
14	03.15	0,412	26	25,6	0,4	47,86	7,887328
Total Q Atap							1762,02908

Tabel E.3. Beban Konduksi Melalui Dinding

No	Waktu (WIB)	U Dinding (W/m ² .°C)	T _{Lingkungan} (°C)	T _{Dinding} (°C)	ΔT (°C)	A (m ²)	Q Konduksi Dinding (W)
1	14.15	0,412	26,8	19,66	7,14	20,14	59,2454352
2	15.15	0,412	25	18,3	6,7	20,14	55,594456
3	16.15	0,412	22,4	19,32	3,08	20,14	25,5568544
4	17.15	0,412	24,4	18,44	5,96	20,14	49,4541728
5	18.15	0,412	23,4	18,44	4,96	20,14	41,1564928
6	19.15	0,412	23,2	19,3	3,9	20,14	32,360952
7	20.15	0,412	25	19,12	5,88	20,14	48,7903584
8	21.15	0,412	24	18,64	5,36	20,14	44,4755648
9	22.15	0,412	23,7	18,12	5,58	20,14	46,3010544
10	23.15	0,412	21,3	18,44	2,86	20,14	23,7313648
11	00.15	0,412	22,4	18,74	3,66	20,14	30,3695088
12	01.15	0,412	23,5	22,28	1,22	20,14	10,1231696
13	02.15	0,412	25,5	23,84	1,66	20,14	13,7741488
14	03.15	0,412	26	25,2	0,8	20,14	6,638144
Total Q Dinding							487,571677

Tabel E.4. Beban Partisi Lantai

No	Waktu (WIB)	T_{Linkungan} (°C)	T_{ruang Kereta} (°C)	ΔT (°C)	A Lantai (m²)	U Lantai (W/m².°C)	Q Partisi lantai (W)
1	14.15	26,8	18,45	8,35	46,1	4,28	1647,5218
2	15.15	25	18	7	46,1	4,28	1381,156
3	16.15	22,4	16,8	5,6	46,1	4,28	1104,9248
4	17.15	24,4	18,33	6,07	46,1	4,28	1197,65956
5	18.15	23,4	18,64	4,76	46,1	4,28	939,18608
6	19.15	23,2	19,25	3,95	46,1	4,28	779,3666
7	20.15	25	17,74	7,26	46,1	4,28	1432,45608
8	21.15	24	18,37	5,63	46,1	4,28	1110,84404
9	22.15	23,7	18,17	5,53	46,1	4,28	1091,11324
10	23.15	21,3	18,4	2,9	46,1	4,28	572,1932
11	00.15	22,4	18,45	3,95	46,1	4,28	779,3666
12	01.15	23,5	22,42	1,08	46,1	4,28	213,09264
13	02.15	25,5	23,94	1,56	46,1	4,28	307,80048
14	03.15	26	24,68	1,32	46,1	4,28	260,44656
Total Q Partisi Lantai							12817,1277

Tabel E.5. Beban Radiasi Jendela

No	Waktu (WIB)	A Jendela (m²)	SC (Koef. Peneduh)	SCL	Q (W)
1	14.15	10,26	0,57	0,14	0,818748
2	15.15	10,26	0,57	0,11	0,643302
3	16.15	10,26	0,57	0,08	0,467856
4	17.15	10,26	0,57	0,06	0,350892
5	18.15	10,26	0,57	0,05	0,29241
6	19.15	10,26	0,57	0,04	0,233928
7	20.15	10,26	0,57	0,03	0,175446
8	21.15	10,26	0,57	0,02	0,116964
9	22.15	10,26	0,57	0,02	0,116964
10	23.15	10,26	0,57	0,01	0,058482
11	00.15	10,26	0,57	0,01	0,058482
12	01.15	10,26	0,57	0,65	3,80133
13	02.15	10,26	0,57	0,75	4,38615
14	03.15	10,26	0,57	0,81	4,737042
Q Total					16,257996

Tabel E.6. Ventilasi Sensibel

No	Waktu (WIB)	Ventilasi rate (L/s)	T lingkungan (°C)	T ruang Kereta (°C)	ΔT (°C)	Qsensibel (W)
1	14.15	583,33	26,8	18,45	8,35	5991,09077
2	15.15	583,33	25	18	7	5022,4713
3	16.15	583,33	22,4	16,8	5,6	4017,97704
4	17.15	583,33	24,4	18,33	6,07	4355,20011
5	18.15	583,33	23,4	18,64	4,76	3415,28048
6	19.15	583,33	23,2	19,25	3,95	2834,10881
7	20.15	583,33	25	17,74	7,26	5209,02023
8	21.15	583,33	24	18,37	5,63	4039,50192
9	22.15	583,33	23,7	18,17	5,53	3967,75233
10	23.15	583,33	21,3	18,4	2,9	2080,73811
11	00.15	583,33	22,4	18,45	3,95	2834,10881
12	01.15	583,33	23,9	22,5	1,4	1004,49426
13	02.15	583,33	25,5	23,88	1,62	1162,34336
14	03.15	583,33	26	24,68	1,32	947,094588
Q Total Sensibel						46881,1821

Tabel E.7. Ventilasi Laten

No	Waktu (WIB)	Ventilasi rate (L/s)	W_{Lingkungan} (Kg Moist/Kg)	W_{Ruang Kereta} (Kg Moist/Kg)	ΔW (Kg Moist/Kg)	Q_{laten} (W)
1	14.15	583,33	0,02185	0,01023	0,01162	20402,6667
2	15.15	583,33	0,01985	0,01111	0,00874	15345,8956
3	16.15	583,33	0,01879	0,01056	0,00823	14450,4258
4	17.15	583,33	0,01879	0,0112	0,00759	13326,6988
5	18.15	583,33	0,01978	0,01266	0,00712	12501,4619
6	19.15	583,33	0,01955	0,01326	0,00629	11044,1286
7	20.15	583,33	0,02156	0,01079	0,01077	18910,2169
8	21.15	583,33	0,01877	0,01107	0,0077	13519,8394
9	22.15	583,33	0,01786	0,01107	0,00679	11922,0402
10	23.15	583,33	0,01537	0,01156	0,00381	6689,68677
11	00.15	583,33	0,01662	0,0134	0,00322	5653,75103
12	01.15	583,33	0,01865	0,01821	0,00044	772,562252
13	02.15	583,33	0,0225	0,02158	0,00092	1615,35744
14	03.15	583,33	0,02176	0,01965	0,00211	3704,78716
Q Total Laten						149859,519

Tabel E.8. Ventilasi Total

No	Waktu (WIB)	Ventilasi rate (L/s)	h Ruang Kereta (KJ/Kg)	h Lingkungan (KJ/Kg)	Δ Entalpy (KJ/Kg)	q Total (W)
1	14.15	583,33	44,49	82,69	38,2	26739,8472
2	15.15	583,33	46,27	75,71	29,44	20607,8822
3	16.15	583,33	43,65	69,45	25,8	18059,8968
4	17.15	583,33	46,84	70,31	23,47	16428,9061
5	18.15	583,33	50,85	73,86	23,01	16106,908
6	19.15	583,33	53,02	73,08	20,06	14041,9198
7	20.15	583,33	45,18	80,08	34,9	24429,8604
8	21.15	583,33	46,55	71,93	25,38	17765,8985
9	22.15	583,33	46,35	69,29	22,94	16057,9082
10	23.15	583,33	47,81	60,48	12,67	8868,94932
11	00.15	583,33	52,54	64,78	12,24	8567,95104
12	01.15	583,33	68,86	74,75	5,89	4122,97644
13	02.15	583,33	80,44	80,74	0,3	209,9988
14	03.15	583,33	74,88	81,64	6,76	4731,97296
q Total						196740,876

LAMPIRAN F
HASIL SIMULASI CFD

Tabel F.1. Hasil Simulasi KA 1

Bidang	<i>Min Temperatur (K)</i>	<i>Min Temperatur (Celsius)</i>	<i>Max Temperatur (K)</i>	<i>Max Temperatur (Celsius)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (K)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (Celsius)</i>
1	296,286	23,286	299,36	26,36	296,934	23,934
2	295,316	22,316	298,587	25,587	296,764	23,764
3	293,878	20,878	298,941	25,941	294,258	21,258
4	293,956	20,956	298,733	25,733	294,257	21,257
5	293,943	20,943	298,889	25,889	294,253	21,253
6	293,962	20,962	298,584	25,584	294,252	21,252
7	293,968	20,968	298,007	25,007	294,269	21,269
8	293,978	20,978	297,329	24,329	294,227	21,227
9	293,944	20,944	298,267	25,267	294,239	21,239
10	293,98	20,98	298,329	25,329	294,24	21,24

Tabel F.1. Lanjutan Hasil Simulasi KA 1

Bidang	<i>Min Temperatur (K)</i>	<i>Min Temperatur (Celsius)</i>	<i>Max Temperatur (K)</i>	<i>Max Temperatur (Celsius)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (K)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (Celsius)</i>
11	293,979	20,979	297,942	24,942	294,246	21,246
12	293,824	20,824	298,263	25,263	294,252	21,252
13	295,215	22,215	301,5	28,5	296,727	23,727
14	296,263	23,263	299,477	26,477	296,811	23,811

Tabel F.2. Hasil Simulasi KA 2

Bidang	<i>Min Temperatur (K)</i>	<i>Min Temperatur (Celsius)</i>	<i>Max Temperatur (K)</i>	<i>Max Temperatur (Celsius)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (K)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (Celsius)</i>
1	296,683	23,683	299,142	26,142	297,504	24,504
2	295,38	22,38	299,154	26,154	296,933	23,933
3	293,821	20,821	298,772	25,772	294,251	21,251
4	293,902	20,902	298,619	25,619	294,243	21,243
5	293,983	20,983	298,884	25,884	294,238	21,238
6	293,918	20,918	298,357	25,357	294,235	21,235
7	293,946	20,946	298,174	25,174	294,224	21,224
8	293,999	20,999	297,755	24,755	294,227	21,227
9	293,931	20,931	297,866	24,866	294,231	21,231
10	293,997	20,997	298,253	25,253	294,234	21,234
11	293,899	20,899	298,422	25,422	294,239	21,239
12	293,936	20,936	298,368	25,368	294,252	21,252
13	295,248	22,248	302	29	296,969	23,969
14	296,596	23,596	299,683	26,683	297,442	24,442

Tabel F.3. Hasil Simulasi KA 3

Bidang	<i>Min Temperatur (K)</i>	<i>Min Temperatur (Celsius)</i>	<i>Max Temperatur (K)</i>	<i>Max Temperatur (Celsius)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (K)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (Celsius)</i>
1	296,683	23,683	301,717	28,717	301,333	28,333
2	295,38	22,38	301,62	28,62	299,52	26,52
3	293,821	20,821	298,943	25,943	294,573	21,573
4	293,902	20,902	298,693	25,693	294,347	21,347
5	293,983	20,983	299,474	26,474	294,292	21,292
6	293,918	20,918	299,008	26,008	294,278	21,278
7	293,946	20,946	298,502	25,502	294,274	21,274
8	293,999	20,999	298,809	25,809	294,271	21,271
9	293,931	20,931	298,386	25,386	294,277	21,277
10	293,997	20,997	299,016	26,016	294,276	21,276
11	293,899	20,899	299,093	26,093	294,282	21,282
12	293,936	20,936	300,127	27,127	294,297	21,297
13	295,248	22,248	302	29	296,853	23,853
14	296,596	23,596	299,822	26,822	297,153	24,153

Tabel F.4. Hasil Simulasi KA 4

Bidang	<i>Min Temperatur (K)</i>	<i>Min Temperatur (Celsius)</i>	<i>Max Temperatur (K)</i>	<i>Max Temperatur (Celsius)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (K)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (Celsius)</i>
1	296,376	23,376	299,131	26,131	296,981	23,981
2	295,327	22,327	298,441	25,441	296,825	23,825
3	293,992	20,992	298,845	25,845	294,295	21,295
4	293,961	20,961	298,426	25,426	294,291	21,291
5	293,923	20,923	297,926	24,926	294,289	21,289
6	293,974	20,974	298,021	25,021	294,29	21,29
7	293,951	20,951	298,23	25,23	294,286	21,286
8	293,974	20,974	297,986	24,986	294,292	21,292
9	293,983	20,983	298,087	25,087	294,301	21,301
10	293,955	20,955	297,94	24,94	294,327	21,327
11	293,991	20,991	297,701	24,701	294,4	21,4
12	293,953	20,953	297,931	24,931	294,879	21,879
13	295,486	22,486	301,5	28,5	298,603	25,603
14	299,101	26,101	301,188	28,188	300,296	27,296

Tabel F.5. Hasil Simulasi KA 5

Bidang	<i>Min Temperatur (K)</i>	<i>Min Temperatur (Celsius)</i>	<i>Max Temperatur (K)</i>	<i>Max Temperatur (Celsius)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (K)</i>	<i>Mass Flow Avg of Temperature (Celsius)</i>
1	299,25	26,25	301,124	28,124	300,296	27,296
2	296,099	23,099	300,718	27,718	298,56	25,56
3	293,981	20,981	297,934	24,934	294,905	21,905
4	293,999	20,999	297,477	24,477	294,411	21,411
5	293,96	20,96	298,484	25,484	294,328	21,328
6	293,979	20,979	298,471	25,471	294,3	21,3
7	294,109	21,109	298,655	25,655	294,446	21,446
8	293,994	20,994	298,588	25,588	294,285	21,285
9	293,999	20,999	298,297	25,297	294,297	21,297
10	293,973	20,973	298,33	25,33	294,325	21,325
11	293,969	20,969	297,811	24,811	294,403	21,403
12	293,975	20,975	298,051	25,051	294,898	21,898
13	295,375	22,375	301,5	28,5	298,54	25,54
14	299,25	26,25	301,188	28,188	300,277	27,277

DAFTAR PUSTAKA

Badan Perencana dan Pembangunan Kota. “*Laporan Akhir-Penyusunan Kajian Penerapan Penilaian Bangunan Hijau di Kota Surabaya.*” Surabaya.

H.Kuehn, Thomas, James W. Ramsey, dan James L. Thelkeld. ***Thermal Enviromental Engineering***. Prentice-Hall,Inc, 2001.

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

Holman, J.P. ***Perpindahan Kalor***. Jakarta: Erlangga, 1991.

Kementrian Perhubungan Republik Indonesia. *PP No. 15 Tahun 2011 Tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Kereta yang Ditarik Lokomotif*. Jakarta: Kementrian Perhubungan, 2011.

Kementrian Perhubungan Republik indonesia. *PP No 72 Tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api* . Jakarta: Kementrian Perhubungan, 2009.

Liu, Weiwei; Qihong, Deng; Huang, Wenjie; Liu, Rui. “*Variation in Cooling Load of a Moving Air-Conditioned Train Compartment under The Effects of Ambient Conditions and Body Thermal Storage.*” ***Applied Thermal Engineering (Science Direct)*** 31 (Desember 2011): 1150-1162.

Liu, Yanfeng; Wang, Lijuan; Liu, Jiaping; Di, Yujui. “*A Study of Human Skin and Surface Temperature in Stable and Unstable*

Thermal Environments.” **Journal of Thermal Biology (Science Direct)** 38 (Juni 2013): 440-480.

Moran, Michael J., dan Howard N. Shapiro. ***Fundamental of Engineering Thermodynamics 6th Edition.*** John Wiley & Sons, Inc, 2008.

Musat, Radu; Helerea, Elena. “*Parameter and Model of The Vehicle Thermal Comfort.*” (**Acta Universitatis Sapientiae - Electrical and Mechanical Engineering**) 1 (Juni 2009): 215-226.

Nuraeni, Tanty; Krishna Putra, Ary Bachtiar. “*Perhitungan Ulang Sistem Pengkondisian Udara Pada Gerbong Kereta Api Penumpang Eksekutif Malam (KA. Gajayana).*” *Jurnal POMITS* (Institut Teknologi Sepuluh Nopember), 2010.

Paryudi, Imam; Fenz, Stefan; Tjoa, A Min. “*Study on Indonesian Overall Thermal Transfer Value (OTTV) Standard.*” *IASKS* (Int J. of Thermal & Environmental Engineering) 6, No 2 (2013): 49-54.

PT. Industri Kereta Api (INKA). www.bumn.go.id/inka/produk. 2014. www.bumn.go.id (diakses Agustus 15, 2014).

PT. Kereta Api Indonesia (Persero). *Kereta Api Eksekutif Bangunkarta*. 2014. www.keretaapi.co.id (diakses Agustus 15, 2014).

PT. Industri Kereta Api (INKA). *Panduan Manual Book dan Maintenance Kereta Satwa (KI)*. Madiun, Jawa Timur: PT. INKA, 1999.

Standar Nasional Indonesia. *Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung*. SNI 03-6389-2000, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta: SNI, 2000, 1-44.

Standar Nasional Indonesia. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standar Nasional, 2001, 1-55.

Tuakia, Firman;. *Dasar- Dasar CFD Dengan Menggunakan Fluent*. Bandung: Informatika, 2008.

Ulfa, Lustyyah. “*Analisis Temperatur dan Aliran Udara pada Sistem Tata Udara di Gerbong Kereta Api Penumpang Kelas Ekonomi dengan Variasi Bukaannya Jendela.*” *Jurnal Teknik POMITS* (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) 1 (2012): 1-6.

Halaman ini memang dikosongan

BIODATA PENULIS



NAMA : Yohanes Tri Prianto
NRP : 2412 106 004
Alamat Rumah : JL. Kaliabang Tengah No.
51 Bekasi Utara
Alamat Surabaya : JL Bumi Marina Emas
Timur Blok 5 No. 32,
Surabaya.

Penulis dilahirkan di Bekasi, 7 April 1991. Penulis menempuh pendidikan formal mulai dari SDN Pejuang 2 Bekasi, SMP Taman Harapan Bekasi, SMAN 2 Bekasi, Jenjang Diploma III Teknik Elektronika Industri Politeknik Negeri Jakarta di Depok dan berhasil Lulus DIII Agustus 2012. Kemudian Penulis melanjutkan pendidikan Sarjana melalui Program Lintas Jalur S-1 pada Januari 2013 dan mengambil Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya. Penulis mengambil Tugas akhir dengan bidang minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Apabila ada pertanyaan tentang Tugas Akhir Penulis, dapat mengirimkan melalui email ke yohanes_tri37@yahoo.com atau yohanesprianto@gmail.com